



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA DE SUSPENSIÓN NEUMÁTICA
INTELIGENTE EN UN VEHÍCULO TIPO
AUTOMOVIL MAZDA 323”.**

**NARVÁEZ MORALES JULIO CÉSAR
POMAQUERO VILLALOVOS MARIO ALBERTO**

TESIS DE GRADO

**Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO AUTOMOTRIZ**

RIOBAMBA – ECUADOR

2011

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Enero, 27 de 2011

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

MARIO ALBERTO POMAQUERO VILLALOVOS

Titulada:

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
SUSPENSIÓN NEUMÁTICA INTELIGENTE EN UN VEHÍCULO TIPO
AUTOMOVIL MAZDA 323”.**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Dr. Mario Audelo
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Elvis Arguello
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRES DEL ESTUDIANTE: MARIO POMAQUERO VILLALOVOS

TÍTULO DE LA TESIS: “CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN NEUMÁTICA INTELIGENTE EN UN VEHÍCULO TIPO AUTOMOVIL MAZDA 323”

Fecha de Examinación: 27 de Enero de 2011.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING.CARLOS SANTILLÁN			
DR. MARIO AUDELO			
ING. ELVIS ARGUELLO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Enero, 27 de 2011

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

JULIO CÉSAR NARVÁEZ MORALES

Titulada:

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
SUSPENSIÓN NEUMÁTICA INTELIGENTE EN UN VEHÍCULO TIPO
AUTOMOVIL MAZDA 323”.**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Dr. Mario Audelo
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Elvis Arguello
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRES DEL ESTUDIANTE: JULIO CÉSAR NARVÁEZ MORALES

TÍTULO DE LA TESIS: “CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN NEUMÁTICA INTELIGENTE EN UN VEHÍCULO TIPO AUTOMOVIL MAZDA 323”

Fecha de Examinación: 27 de Enero de 2011.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING.CARLOS SANTILLÁN			
DR. MARIO AUDELO			
ING. ELVIS ARGUELLO			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Julio César Narváez Morales

Mario Alberto Pomaquero Villalovos

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a su Facultad de Mecánica, por todos los conocimientos recibidos durante nuestra vida universitaria, de manera especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, a su personal docente, personal administrativo, colaboradores y en especial nuestros compañeros, que con comprensión y responsabilidad compartieron sus conocimientos y enseñanzas.

Con sincera gratitud expresamos nuestro más profundo agradecimiento a nuestro director y asesor, que aportaron con sus ideas y experiencia para lograr realizar la tarea encomendada.

En este momento trascendente de nuestras vidas, agradecemos a todas aquellas personas que nos brindaron su ayuda incondicional, su amistad y valiosos conocimientos en el desarrollo de esta tesis de grado.

Julio César Narváez Morales

Mario Alberto Pomaquero Villalovos

DEDICATORIA

Dedico este presente trabajo a Dios quien con su grandeza ha guiado mi vida por el camino correcto, a mis padres Ángel y María, quienes supieron apoyarme día a día durante todo el transcurso de mi carrera, a mi querida esposa Paula que me apoyo incondicionalmente durante el desarrollo de esta tesis de grado, para así brindarle mis conocimientos a mi querida hija Nina.

Mario

Son tantas personas a las cuales debo parte de este triunfo. Este trabajo lo dedico a Dios, mi Señor, ya que sin él no hubiera tenido las fuerzas necesarias para alcanzar esta meta, a mis queridos padres, Washington y Margoth, que me apoyaron en todo momento tanto en lo emocional como en lo económico, a mi hermano Javier que supo comprenderme y darme aliento. A mis amigos con quienes compartí mi vida estudiantil y una verdadera amistad

Julio César

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>	<u>PÁGINA</u>
1. GENERALIDADES	
1.1 Introducción.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
2. FUNDAMENTO TEORICO	
2.1 Sistema de suspensión.....	4
2.1.1 Reseña histórica de los sistemas de suspensión.....	4
2.1.2 Misión del sistema de suspensión.....	4
2.1.3 Componentes del sistema de suspensión.....	5
2.1.3.1 Ballestas.....	6
2.1.3.2 Muelles.....	6
2.1.3.3 Barras de torsión.....	7
2.1.3.4 Barra estabilizadora.....	7
2.1.3.5 Cojinetes elásticos.....	7
2.1.3.6 Rótulas.....	8
2.1.3.7 Manguetas y buje.....	8
2.1.3.8 Trapecios o brazos de suspensión.....	8
2.1.3.9 Topes de suspensión.....	9
2.1.3.10 Amortiguadores.....	9
2.1.3.11 Bastidor.....	9
2.1.4 Clasificación de los sistemas de suspensión.....	11
2.1.4.1 Suspensiones rígidas.....	11
2.1.4.2 Suspensiones semirrígidas.....	12
2.1.4.3 Suspensión independiente.....	14
2.1.5 Tipos de sistemas de suspensión.....	18
2.1.5.1 Suspensión pasiva.....	18
2.1.5.2 Suspensión semiactiva.....	19
2.1.5.3 Suspensión activa.....	19
2.1.6 Suspensión neumática.....	19
2.1.6.1 Componentes de la suspensión.....	20
2.1.6.2 Funcionamiento de la suspensión neumática.....	22
2.1.6.3 Sensores del sistema.....	24
2.1.6.4 Concepto general de regulación.....	26
2.1.6.5 Operación de cambio de nivel.....	26
2.2 Conceptos básicos.....	27
2.2.1 Fuerzas que actúan en el vehículo.....	27
2.2.1.1 Balanceo y cabeceo.....	28
2.2.1.2 La unión al suelo.....	29
2.2.2 Sistema de muelles.....	30
2.2.2.1 Masas no muelladas.....	31
2.2.3 Oscilación.....	31
2.2.3.1 Frecuencia propia de la carrocería.....	31

3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN NEUMÁTICA.

3.1	Requerimientos del sistema de control para la suspensión neumática.....	34
3.2	Características del sistema.....	35
3.2.1	Modo manual.....	35
3.2.2	Modo automático.....	35
3.3	Fase mecánica.....	36
3.3.1	Selección del conjunto muelle – amortiguador.....	36
3.3.1.1	Selección del pulmón de aire.....	37
3.3.2	Selección del compresor.....	42
3.3.3	Selección de las electroválvulas.....	43
3.3.4	Diseño del sistema neumático.....	43
3.3.4.1	Distribución del sistema neumático.....	43
3.3.4.2	Elementos que componen el sistema neumático.....	44
3.3.4.3	Determinación del diámetro de la manguera.....	45
3.3.5	Mecanismo para determinar el nivel del vehículo.....	50
3.3.6	Diseño de la base donde se aloja el sistema de alimentación de aire.....	51
3.3.6.1	Dimensiones de la base metálica.....	52
3.3.6.2	Diseño de la base metálica con solidworks.....	52
3.4	Fase eléctrica y electrónica.....	55
3.4.1	Selección de sensores.....	55
3.4.1.1	Sensor de altura.....	55
3.4.1.2	Sensor de velocidad.....	56
3.4.1.3	Switch de presión.....	56
3.4.2	Selección del microcontrolador.....	57
3.4.3	Diseño del circuito de control automático.....	57
3.4.3.1	Parámetros de sensores.....	58
3.4.3.2	Condiciones de operación.....	60
3.4.3.3	Cartografía de operación.....	62
3.4.3.4	Diagrama de flujo.....	64
3.4.3.5	Programación del módulo de control.....	65
3.4.4	Conexiones del circuito de control manual y generación de aire comprimido	73
3.4.4.1	Conexión del circuito de generación de aire comprimido.....	73
3.4.4.2	Conexión del circuito de funcionamiento manual del sistema.....	74
3.5	Construcción del módulo de control.....	76
3.5.1	Determinación de entradas y salidas del módulo de control.....	76
3.5.2	Circuito del módulo de control.....	78
3.5.3	Construcción de la placa.....	79

4. INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA

4.1	Instalación del sistema de suspensión neumático.....	80
4.1.1	Ubicación e instalación del grupo de alimentación de aire.....	80
4.1.2	Instalación de los amortiguadores.....	84
4.2	Instalación del sistema eléctrico y electrónico.....	88
4.2.1	Instalación del sistema eléctrico del compresor.....	88
4.2.2	Ubicación e instalación de sensores.....	89
4.2.2.1	Sensor de velocidad.....	89
4.2.2.2	Sensor de nivel.....	91
4.2.3	Ubicación e instalación del módulo de control.....	92
4.3	Mantenimiento del sistema de suspensión neumática en el vehículo mazda 323.....	93

5. PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

5.1	Prueba del sistema eléctrico.....	95
5.1.1	Prueba de los sensores.....	95
5.1.2	Prueba del módulo de control.....	96
5.2	Prueba de estabilidad.....	99
5.2.1	Prueba de carretera.....	99
5.2.1.1	Prueba de carretera sin el sistema.....	99
5.2.1.2	Prueba de carretera con el sistema.....	100
5.2.1.3	Análisis de las pruebas realizadas en carretera.....	102
5.2.2	Prueba de cabeceo.....	104

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	Conclusiones.....	106
6.2	Recomendaciones.....	107

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
3.1	DIMENSIONES DEL PULMÓN DE AIRE.....	41
3.2	MEDIDAS DE MANGUERAS RECOMENDADAS.....	46
3.3	DIMENSIONES DEL PULMÓN DE AIRE Y EL VÁSTAGO DEL AMORTIGUDOR.....	47
3.4	DIMENSIONES DEL GRUPO DE ALIMENTACIÓN DE AIRE Y DEPOSITO.....	51
3.5	DIMENSIONES DE LA BASE METÁLICA.....	52
3.6	RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL DISEÑO DE LA BASE METÁLICA.....	54
3.7	DATOS OBTENIDOS PARA EL CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DEL VEHÍCULO.....	59
3.8	VALOR DE VOLTAJE/SEGUNDOS PARA LA CARTOGRAFÍA DEL SENSOR DELANTERO DERECHO.....	63
5.1	VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE LA PRUEBA DE CARRETERA.....	102
5.2	VALORES OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE CABECEO.....	105

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	Sistema de suspensión primitivo.....	4
2.2	Ballestas.....	6
2.3	Muelles.....	7
2.4	Barra de torsión.....	7
2.5	Barra estabilizadora y cojinetes elásticos.....	8
2.6	Mangueta.....	8
2.7	Trapecios o brazos de suspensión.....	9
2.8	Amortiguador.....	10
2.9	Suspensión rígida con ballestas.....	12
2.10	Suspensión rígida con muelles.....	12
2.11	Esquema de una suspensión De Dion.....	13
2.12	Esquema de una suspensión de eje torsional.....	13
2.13	Esquema de una suspensión de eje oscilante.....	15
2.14	Suspensión de brazos tirados o arrastrados.....	15
2.15	Suspensión McPherson.....	16
2.16	Despiece de un suspensión McPherson.....	16
2.17	Esquema de una suspensión multibrazo.....	17
2.18	Componentes básicos de la suspensión hidroneumática.....	18
2.19	Esquema de un amortiguador de una suspensión neumática.....	21
2.20	Grupo de alimentación de aire.....	22
2.21	Esquema neumático de la suspensión.....	23
2.22	Principio de funcionamiento del sensor de presión.....	25
2.23	Sensor de aceleración.....	25
2.24	Operación de cambio de nivel.....	27
2.25	Fuerzas que actúan en el vehículo.....	28
2.26	Sistema de masas muelladas.....	30
2.27	Frecuencia propia de la carrocería.....	32
2.28	Masa o muelle más blando.....	32
2.29	Masa o muelle más duro.....	33
3.1	Diagrama de entrada y salida del módulo.....	34
3.2	Conjunto muelle – amortiguador.....	36
3.3	Pulmón de aire.....	40
3.4	Dimensiones del pulmón de aire.....	41
3.5	Compresor.....	42
3.6	Electroválvula.....	43
3.7	Esquema del sistema neumático.....	44
3.8	Vista en corte del pulmón de aire y el vástago del amortiguador atravesado.....	45
3.9	Mecanismo de nivel de altura del vehículo.....	50
3.10	Altura medida por el mecanismo.....	51
3.11	Base metálica.....	52
3.12	Sujeciones de la base metálica.....	53
3.13	Distribución de cargas en la base metálica.....	53
3.14	Lista de materiales.....	54
3.15	Deformación de la base metálica.....	54
3.16	Esquema de un potenciómetro.....	55
3.17	Sensor de nivel.....	55
3.18	Principio de funcionamiento del sensor inductivo.....	56
3.19	Sensor de velocidad.....	56
3.20	Switch de presión.....	57
3.21	Medición de altura.....	58
3.22	Gráfica de distancia recorrida en función de los pulsos del sensor de	

	velocidad.....	60
3.23	Cartografía sensor delantero derecho.....	63
3.24	Diagrama de flujo del módulo de control.....	64
3.25	Esquema de conexión del compresor.....	74
3.26	Esquema de conexión del modo manual del sistema.....	75
3.27	Esquema de conexión manual – automático.....	76
3.28	Entradas y salidas de datos del módulo de control.....	77
3.29	Diseño del circuito del módulo de control.....	78
3.30	Ruteado del módulo de control.....	78
3.31	Acople de los elementos electrónicos del módulo de control.....	79
3.32	Módulo de control.....	79
4.1	Compresor de aire.....	80
4.2	Base del grupo de alimentación de aire y tanque de reserva.....	81
4.3	Colocación del tanque.....	81
4.4	Instalación del grupo de alimentación de aire.....	82
4.5	Ubicación del manómetro.....	82
4.6	Conector molex.....	83
4.7	Mangueras de conexión.....	83
4.8	Cañerías de cobre.....	83
4.9	Lugar en donde va instalado el swicht de presión.....	84
4.10	Suspensión normal y neumática.....	84
4.11	Desmontaje de accesorios.....	85
4.12	Base superior.....	85
4.13	Suspensión convencional.....	86
4.14	Colocación de la base superior.....	86
4.15	Guardabarros.....	86
4.16	Caucho.....	87
4.17	Colocación de la suspensión.....	87
4.18	Manguera de aire.....	88
4.19	Compresor.....	88
4.20	Aseguramiento del grupo de alimentación de aire.....	89
4.21	Conector doble cabeza.....	90
4.22	Adaptación del sensor de velocidad.....	90
4.23	Cable del velocímetro.....	90
4.24	Cable del sensor de velocidad.....	91
4.25	Instalación de la varilla.....	91
4.26	Platina y rótula de sujeción del sensor.....	92
4.27	Módulo de control.....	92
4.28	Purga de aire.....	93
4.29	Filtro de aire.....	94
4.30	Fugas en cañerías.....	94
5.1	Pruebas del sensor de nivel.....	95
5.2	Forma de onda del sensor de velocidad.....	96
5.3	Comprobación modo alto 1.....	97
5.4	Comprobación modo alto.....	97
5.5	Comprobación modo bajo.....	98
5.6	Comprobación modo estacionamiento.....	98
5.7	Gráficas velocidad vs. voltaje en el sistema de suspensión mecánica convencional.....	100
5.8	Gráficas velocidad vs. voltaje en el sistema de suspensión Neumática.....	101
5.9	Prueba de cabeceo.....	105

LISTA DE ABREVIACIONES

A	Área
ABS	Sistema Antibloqueo de Frenos (Antiblok Break System)
AC	Corriente Alterna
ASTM	Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (American Society of Testing and Materials)
BAT.	Batería
CDC	Control de amortiguación continua (continuous damping control)
Cfm	Consumo de aire en pies ³ /minnuto
cm	Centímetros
DB25	Bus de datos de 25 pines (Data Bus)
DB9	Bus de datos de 9 pines (Data Born)
DD	Delantero Derecho
DI	Delantero Izquierdo
ECU	Unidad de control electrónica
F	Fuerza
FAD	Consumo en aire libre suministrado (Free Air Delivered)
ft	Pies
Hz	Hertz
IGN	Ignition
Kg	Kilogramo
Km	Kilometro
Mm	Milímetros
N	Newton
NTC	Coeficiente negativo de temperatura
PD	Posterior Derecho
PI	Posterior Izquierdo
PSI	Presión lb/in ² (Pounds per Square Inch)
s	Segundo
t	Tiempo
V _t	Volumen total

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1:	Mecanismo biela-manivela
ANEXO 2:	Dimensiones de la base metálica
ANEXO 3:	Características del material Acero ASTM
ANEXO 4:	Datasheet del microcontrolador 16f687A
ANEXO 5:	Valores de altura en función de voltaje
ANEXO 6:	Cartografía de operación de cada sensor
ANEXO 7:	Circuito del módulo de control
ANEXO 8:	Mantenimiento del sistema de suspensión neumática
ANEXO 9:	Prueba de carretera con el sistema de suspensión convencional
ANEXO 10:	Prueba de carretera con el sistema de suspensión neumática
ANEXO 11:	Código de colores

RESUMEN

Se ha implementado un sistema de suspensión neumática inteligente en un vehículo tipo automóvil mazda 323. El objetivo del proyecto es sustituir la suspensión mecánica convencional del vehículo por éste sistema, con la finalidad de aumentar la estabilidad del mismo.

Esto amerita la construcción de un módulo de control electrónico, el cuál recibe la información de los sensores de altura y velocidad, procesa la información recibida y ordena el funcionamiento de los actuadores (electroválvulas) para determinar el nivel y estado del sistema de suspensión del vehículo mazda 323.

Se realizó la instalación en el vehículo de los elementos que componen el sistema de suspensión neumática, que consta de: el grupo de alimentación de aire (electroválvulas, compresor), deposito de aire comprimido, amortiguadores hidráulicos, pulmones de aire, mangueras y manómetros de control.

Mediante pruebas de campo se obtuvieron los parámetros de funcionamiento del sistema de suspensión neumática. Con los datos obtenidos se procedió a la construcción del módulo de control. El módulo de control va alojado en un lugar seguro, para protegerlo del calor, humedad y golpes.

Las pruebas realizadas del sistema implementado nos permitieron comparar las variaciones, del mismo con respecto al anterior. Logrando nuestro objetivo de mejorar la estabilidad del vehículo en un promedio aproximado del 45%, con un error de $\pm 10\%$.

A través de este proyecto se abre un claro camino hacia la consecución de un sistema que regule automáticamente la suspensión en función de la velocidad del vehículo, en lo que sería un sistema de suspensión puramente semiactivo.

SUMMARY

A pneumatic intelligent suspension system has been implemented in a mazda-type 323 automobile vehicle. The objective of the project is substituting the conventional mechanical suspension of a vehicle for this system to increase stability. This requires the construction of an electronic control module which receives the information from the height and velocity sensors, processes the received information and orders the functioning of the actuators (electro-valves) to determine the level and the suspension system condition of the mazda vehicle 323. The installation of the elements of the pneumatic suspension system consisting of air feeding group, (electro-valves, compressor), compressed –air deposit, hydraulic buffers, air lungs, hoses and control gauges, was carried out in the vehicle. Through field tests the pneumatic suspension system functioning parameters were obtained. With the obtained data, the control module was constructed. The control module is placed in a safe place to protect it from heat, humidity and shocks. The tests of the implemented system allowed to compare its variations with the anterior system. The objective was accomplished improving stability of the vehicle by an average of approximately 45% with an error of $\pm 10\%$. Through this project a clear new way is opened up towards the attainment of a system regulating automatically the suspension in function of vehicle velocity, which will be a purely semi-active suspension system.

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

En la actualidad la tecnología avanza día a día y la perspectiva de los fabricantes de automóviles, difiere de épocas anteriores, en las cuales se centraban en la evolución de motores más rápidos y de mayor potencia.

A diferencia de lo anteriormente mencionado, hoy prima la seguridad de los ocupantes del automotor, por lo que se han implementado sistemas que se denominan de seguridad pasiva y activa, el primero basado en reducir al mínimo los daños que se pueden producir cuando un accidente es inevitable y el segundo que consta de aquellos elementos que contribuyen a proporcionar una mayor eficiencia y estabilidad al vehículo en marcha, y en la medida de lo posible, evitar un accidente, uno de los varios sistemas que comprende la seguridad activa de un automotor es el sistema de suspensión, el cual además de ser un sistema que ayuda a controlar las ruedas del vehículo en contacto con el suelo, también se encarga de proporcionar estabilidad y confort al conjunto del vehículo.

La evolución de los sistemas de suspensión avanza paralelamente con la evolución de los vehículos. Se implementaron primero sistemas de suspensión simples que únicamente constaban de ballestas, el cual mejoró el confort en el vehículo, pero surgieron varios problemas con la implementación de este sistema, uno de estos fue que el vehículo perdía estabilidad, entonces se introdujeron los resortes helicoidales y las barras de torsión y de igual forma que en el sistema de ballestas existieron problemas relacionados con la estabilidad, entonces se fabricaron amortiguadores, que se encargaban de absorber vibraciones y oscilaciones producidas por otros elementos que componen el sistema de suspensión.

En la actualidad aún se implementan varios de estos elementos que componen el sistema de suspensión en un vehículo, pero según avanza la tecnología y se realizan varios estudios se van incorporando otros sistemas de suspensión comandados

electrónicamente que ayudan a mejorar el confort y la estabilidad del vehículo dentro del cual se cita el sistema de suspensión neumática.

1.2 Justificación

El avance tecnológico en los automóviles en lo referente a las aplicaciones eléctricas y electrónicas ha creado la necesidad de contar con ingenieros automotrices en el área de sistemas de electricidad y electrónica aplicadas a los modernos automóviles.

El desarrollo de este proyecto es importante, porque se conseguirá crear una cultura de investigación en las áreas de electrónica aplicadas al automóvil, la especialización en estas áreas y obtención de experiencia que luego se pondrá en práctica en el desarrollo profesional en la reparación, construcción, adaptación y optimización de los diferentes sistemas del vehículo.

La implementación de sistemas de seguridad en los vehículos es inevitable por lo que los antiguos sistemas van quedando obsoletos, uno de ellos es el sistema de suspensión. Hoy en día existen varios aditamentos adicionales al sistema de suspensión tradicional, que mejoran el funcionamiento del mismo. Uno de ellos es la incorporación de los sistemas de suspensión neumática, el mismo que consta de un sistema de control electrónico comandado por una unidad de control electrónica (ECU) y un sistema de control neumático que trabaja por medio de aire comprimido.

En el país, el deprimente estado de la mayoría de carreteras ocasiona que los vehículos sufran daños prematuros, especialmente en los sistemas de amortiguación, como es el caso del sistema de suspensión del vehículo, obligando a los conductores a realizar reparaciones constantes de dichos sistemas. Además, los conductores y ocupantes del automotor, en el transcurso de su viaje están propensos a un viaje muy hostil.

Existen varios factores como las imperfecciones de la carretera, el manejo inadecuado de muchos conductores, en ocasiones el conductor del vehículo no conoce el estado de la carretera y no existe una señalización adecuada, por lo que existe el riesgo de sufrir accidentes de tránsito, debido a que puede haber una curva demasiado cerrada que le obligaría a maniobrar el vehículo de manera abrupta creando una fuerza inercial al momento de tomar la curva, y un sistema de suspensión tradicional del auto no alcanza el 100% de eficiencia, pese a que la suspensión se encuentre en buenas

condiciones. Por ejemplo, al tomar una curva a la derecha, la parte delantera izquierda del auto "baja" al suelo por la presión ejercida sobre ésta, mientras que la llanta trasera derecha "se levanta" del piso.

Debido a esto, la estabilidad del auto es menor que si tuviese las cuatro ruedas al mismo nivel, por la menor fuerza de rozamiento que ofrece el suelo. Entonces el objetivo de la suspensión neumática es mantener el auto lo más estable posible; a simple vista, tener las cuatro ruedas a la misma altura respecto al piso en cualquier situación, logrando un aumento de estabilidad del vehículo.

Conociendo este problema se ha visto la necesidad de encontrar una solución para lo cual se plantea el plan de tesis a fin de obtener un desarrollo académico y social con la aplicación de técnicas y métodos en la implementación del sistema de suspensión neumática inteligente en un vehículo, se pretende mejorar la estabilidad del vehículo, brindando mayor seguridad al conductor al momento de conducir su vehículo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de suspensión neumática inteligente en un vehículo tipo automóvil mazda 323.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Investigar el funcionamiento del sistema de suspensión neumática existente en vehículos que incorporan dicho sistema.
- Seleccionar los elementos adecuados que incorporará el sistema de suspensión neumática para su correcto funcionamiento e investigar los procesos de control de dicho sistema.
- Construir un módulo de control electrónico para el funcionamiento del sistema de suspensión neumática que se incorporará en el vehículo.
- Comparar los resultados mediante pruebas con el sistema implementado en el vehículo y con un sistema de suspensión tradicional.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Sistema de suspensión

2.1.1 Reseña histórica de los sistemas de suspensión¹

Una preocupación de los fabricantes de carruajes fue tratar de hacer más cómodos los vehículos. Los caminos empedrados eran seguramente una tortura para los ocupantes de los antiguos carros de tracción animal, pues cada hoyo o piedra que las ruedas atravesaban se registraba un golpe brusco exactamente donde se sentaban, con la misma magnitud del golpe.

Se hicieron varios intentos para reducir esos impactos, acolchando los asientos o poniendo unos resortes en el pescante del cochero, a inicios se solucionó parcialmente, pero el problema aún no se resolvía hasta que alguien tuvo la idea de colgar la cabina del carruaje, con unas correas de cuero, desde unos soportes de metal más o menos acerado que venían de los ejes fig. 2.1 de modo que aquellas quedaban suspendidas por cuatro soportes y cuatro correas.

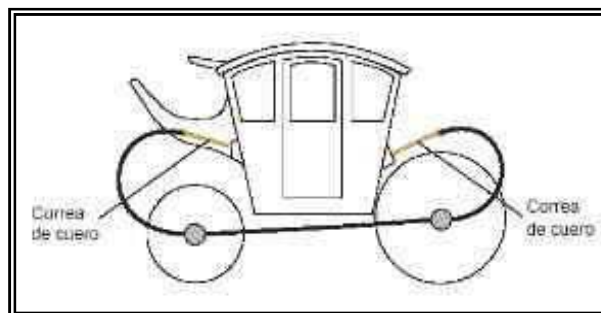


Figura 2.1 *Sistema de suspensión primitivo.*

El resultado fue que aunque los golpes del rodaje eran parcialmente absorbidos por tal sistema, pero resultó ser una verdadera coctelera pues se mecía y bamboleaba sin control. Entonces, podemos decir que ahí nació el concepto de suspensión: un medio elástico que además de sostener la carrocería asimile las irregularidades del camino.

¹ HERNANDEZ, JORGE, "Mantenimiento de los sistemas de dirección y suspensión", pp 8

Según avanzaba el tiempo los sistemas de suspensión evolucionaban conjuntamente con el desarrollo de los vehículos, implementándose primero sistemas de suspensión que únicamente constaban de ballestas, pero surgieron varios problemas con la implementación de este sistema, uno de estos fue que el vehículo perdía estabilidad, entonces aparecieron los resortes helicoidales y las barras de torsión pero de igual forma que en el sistema de ballestas existieron problemas relacionados con la estabilidad, posteriormente se fabricaron los amortiguadores, que se encargaban de absorber vibraciones y oscilaciones producidas por otros elementos que componen el sistema de suspensión.

Una suspensión actual de tipo convencional cuenta básicamente con dos elementos: un resorte (o muelle helicoidal) y un amortiguador. El resorte tiene como función principal absorber las irregularidades del camino para que no se transmitan a la carrocería, el amortiguador a su vez, tiene la función de controlar las oscilaciones de la carrocería. Con esta combinación de elementos se logra una marcha cómoda, segura y estable, acorde con los requerimientos de los automóviles y los caminos actuales.

Obviamente, los componentes mencionados no trabajan solos, pues se encuentran integrados en conjuntos mecánicos que funcionan como un equipo y que juntos constituyen el sistema de suspensión.

2.1.2 Misión del sistema de suspensión²

La misión del sistema de suspensión de un automóvil es hacer más cómoda la marcha del mismo para los ocupantes y contribuir en todo momento a la mayor estabilidad del vehículo. Para cumplir estos objetivos deberá tener dos cualidades importantes:

- a. Elasticidad** que evita que las desigualdades del terreno se transmitan al vehículo en forma de golpes secos.
- b. Amortiguación** que impide un balanceo excesivo.

Además también es necesario que cumplan con otras cualidades complementarias:

- Transmitir las fuerzas de aceleración y de frenada entre los ejes y bastidor.

² ALONSO, JOSÉ M., " Técnicas del Automóvil", 7ma. ed. España: Paraninfo. 2004, pp. 453

- Resistir el par motor y de frenada.
- Resistir los efectos de las curvas.
- Conservar el ángulo de dirección en todo el recorrido.
- Conservar el paralelismo entre los ejes y la perpendicularidad del bastidor.
- Proporcionar una estabilidad adecuada al eje de balanceo.
- Soportar la carga del vehículo.

2.1.3 Componentes del sistema de suspensión

Los componentes del sistema de suspensión en general se clasifican en:

2.1.3.1 Ballestas³

Uno de los elementos elásticos utilizado en los sistemas de suspensión es la ballesta fig. 2.2, está compuesta por una serie de hojas de acero que se mantienen aplicadas una contra otra, formando un conjunto elástico y de gran resistencia a la rotura.

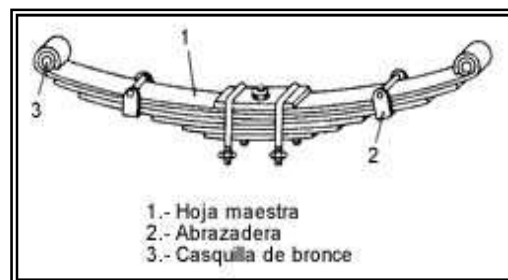


Figura 2.2 Ballestas.

2.1.3.2 Muelles

³ ALONSO, JOSÉ M., " Técnicas del Automóvil", 7ma. ed. España: Paraninfo. 2004, pp. 456

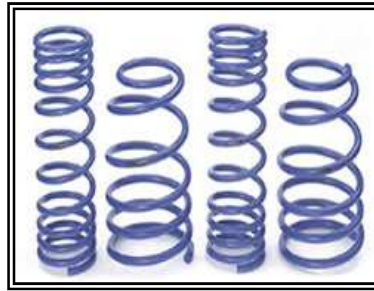


Figura 2.3 Muelles.

Estos se utilizan en casi todos los automóviles de turismo en sustitución de las ballestas, tienen la ventaja de conseguir una elasticidad blanda debido al gran recorrido del resorte. Están formados por un alambre de acero enrollado en forma de espiral, tienen la función de absorber los golpes que recibe la rueda.

2.1.3.3 Barra de torsión

Es utilizado en algunos turismos con suspensión independiente. Es de un acero especial para muelles, de sección redonda o cuadrangular y cuyos extremos se hallan fijados, uno, en un punto rígido y el otro en un punto móvil, donde se halla la rueda.

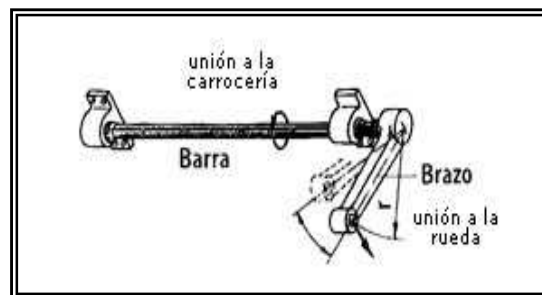


Figura 2.4 Barra de torsión.

2.1.3.4 Barra estabilizadora

Es una barra de hierro, que suele colocarse en la suspensión trasera, su misión es impedir que el muelle de un lado se comprima excesivamente mientras que por el otro se distiende fig. 2.5.

2.1.3.5 Cojinetes elásticos

Los cojinetes elásticos son elemento de caucho que permiten la unión de los componentes de la suspensión facilitando un pequeño desplazamiento.

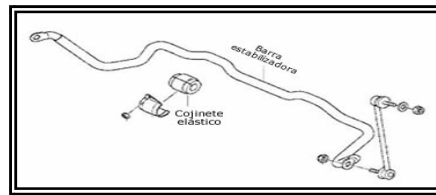


Figura 2.5 Barra estabilizadora y cojinetes elásticos.

2.1.3.6 **Rótulas**

Las rótulas constituyen un elemento de unión y fijación de la suspensión y de la dirección, que permite su pivotamiento y giro manteniendo la geometría de las ruedas. La fijación de las rótulas se realiza mediante tornillos o roscados exteriores o interiores.

2.1.3.7 **Mangueta y buje**

La mangueta de la suspensión es una pieza fabricada con acero o aleaciones que une el buje de la rueda y la rueda a los elementos de la suspensión, tirantes, trapecios, amortiguador, etc.

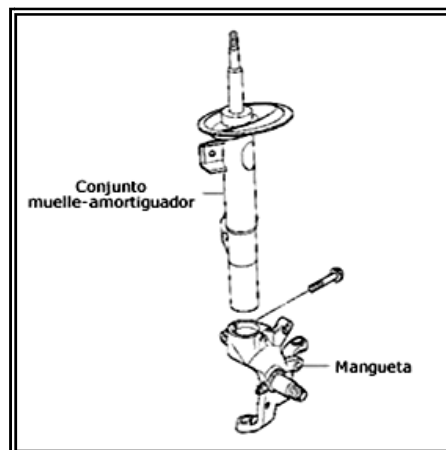


Figura 2.6 Mangueta.

2.1.3.8 **Trapecios o brazos de suspensión**

Son brazos articulados fabricados en fundición o en chapa de acero embutida que soportan al vehículo a través de la suspensión. Unen la mangueta y su buje mediante elementos elásticos y elementos de guiado (rótulas) al vehículo soportando los esfuerzos generados por este en su funcionamiento.

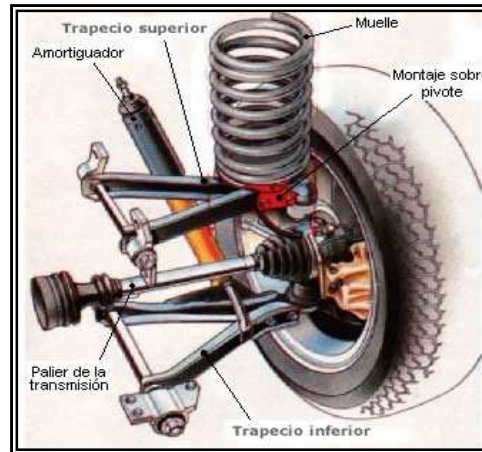


Figura 2.7 *Trapecios o brazos de suspensión.*

2.1.3.9 Topes de suspensión

Estos topes pueden ser elásticos o semirrígidos en forma de taco o en forma de casquillo. Su función es servir de tope para el conjunto de la suspensión, de manera que en una compresión excesiva esta no se detiene.

2.1.3.10 Amortiguadores

Tienen como misión absorber el exceso de fuerza del rebote del vehículo, es decir, eliminando los efectos oscilatorios de los muelles. Pueden ser de fricción o hidráulicos y estos últimos se dividen en giratorios, de pistón y telescópicos, éstos son los más usados. Tanto un sistema como el otro permiten que las oscilaciones producidas por las irregularidades de la marcha sean más elásticas. Para controlar el número y la amplitud de estas, se incorporan a la suspensión los amortiguadores.

Los amortiguadores hidráulicos están formados por dos cilindros excéntricos, dentro de los cuales se desplaza un vástago por el efecto de las oscilaciones a las que ofrece resistencia.

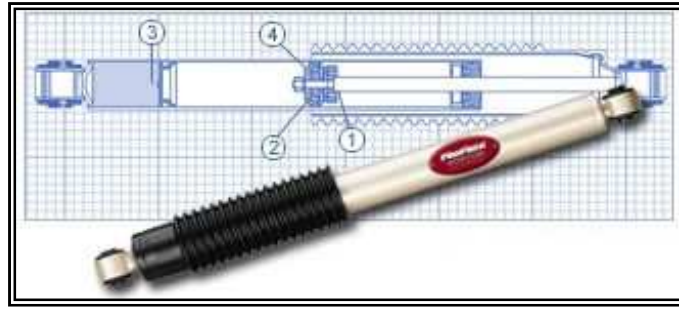


Figura 2.8 Amortiguador.

a) **Tipos de amortiguador**

- **De gas**

Los amortiguadores de gas ofrecen una gran estabilidad y rigidez al vehículo, permitiéndole tomar curvas más rápidamente, estos amortiguadores son utilizados en carreras como las de gran turismo.

- **De aceite**

Los amortiguadores de aceite se les llama amortiguadores hidráulicos, estos están compuestos por un aceite que se comprime fácilmente, son incluso, mucho más suaves que los amortiguadores convencionales.

- **Amortiguador de doble tubo**

Son los más comunes en la actualidad. A su vez los hay de dos tipos. No presurizados (aceite) y presurizados (con aceite y gas). Constan de dos cámaras: una llamada interior y otra de reserva. Hay válvulas en el pistón y en la base del amortiguador, llamada válvula de pie.

- **Amortiguadores monotubo**

Su uso es cada vez más extendido sobre todo en vehículos de altas prestaciones y en competición. Constan de dos cámaras principales. Una contiene aceite y el otro gas a presión (normalmente nitrógeno) que están separadas por un pistón flotante.

2.1.3.11 Bastidor

Todos los elementos de un automóvil, como el motor y todo su sistema de transmisión van montados sobre un armazón rígido. Es fácil deducir que necesitamos una estructura sólida para soportar estos órganos.

2.1.4 Clasificación de los sistemas de suspensión

Existen varios sistemas de suspensión y todos ellos tienen el mismo principio de funcionamiento. No todos los modelos de suspensión pueden ser montados en el eje delantero o trasero indistintamente; por lo que cada tipo de suspensión se adapta mejor a uno de los dos ejes. Estas se pueden clasificar en:

- Suspensiones rígidas.
- Suspensiones semirrígidas.
- Suspensiones independientes.

2.1.4.1 Suspensiones rígidas

Esta suspensión tiene unidas las ruedas mediante un eje rígido formando un conjunto. Su principal inconveniente es que al estar unidas ambas ruedas, las vibraciones producidas por la acción de las irregularidades del suelo, se transmiten de un lado al otro del eje. Además el peso de las masas no suspendidas aumenta notablemente debido al peso del eje rígido y al peso del grupo cónico diferencial en los vehículos de tracción trasera.

Como principal ventaja, los ejes rígidos destacan por su sencillez de diseño y no producen variaciones significativas en los parámetros de la rueda como caída, avance, etc. El principal uso de esta disposición de suspensión se realiza sobre todo en vehículos industriales, autobuses, camiones y vehículos todo terreno.

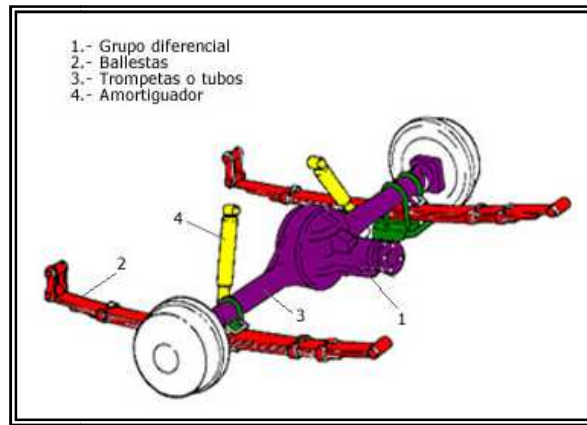


Figura 2.9 *Suspensión rígida con ballestas.*

Podemos tener otro tipo de suspensión rígida en la que las ballestas son sustituidas por muelles. Esta suspensión no presenta rigidez longitudinal, de forma que el eje rígido lleva incorporada barras longitudinales que mantienen el eje fijo en su posición, evitando que se mueva en el eje longitudinal.

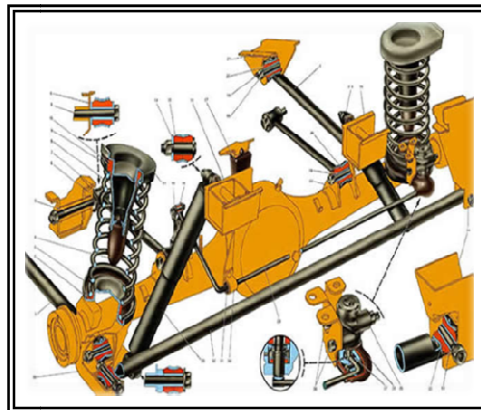


Figura 2.10 *Suspensión rígida con muelles.*

2.1.4.2 Suspensión semirrígida

Estas suspensiones son muy parecidas a las suspensiones rígidas, su diferencia principal es que las ruedas están unidas entre sí como en el eje rígido pero transmitiendo de una forma parcial las oscilaciones que reciben de las irregularidades del terreno. En cualquier caso aunque la suspensión no es rígida total tampoco es independiente. La función motriz se separa de la función de suspensión y de guiado o lo que es lo mismo el diferencial se une al bastidor, no es soportado por la suspensión.

En la fig. 2.11 se muestra una suspensión de este tipo. Se trata de una suspensión con eje "De Dion". Además, el **eje torsional** es otro tipo de suspensión

semirrígida (semi-independiente), utilizada en las suspensiones traseras, en vehículos que tienen tracción delantera fig. 2.12.

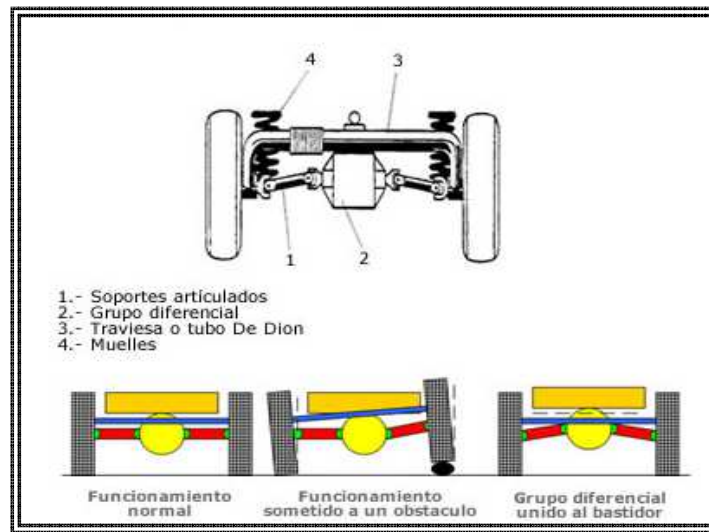


Figura 2.11 Esquema de una suspensión De Dion.

En la actualidad, existen pocos coches que montan esta suspensión debido a que su coste es elevado.

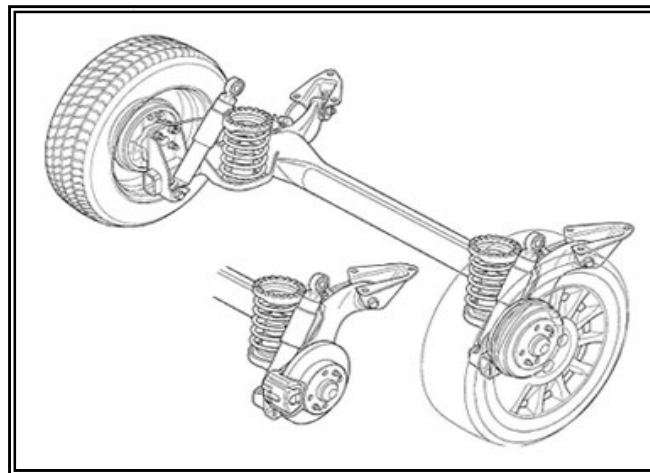


Figura 2.12 Esquema de una suspensión de eje torsional.

2.1.4.3 Suspensión independiente

Actualmente la suspensión independiente a las cuatro ruedas se está utilizando cada vez más, debido a que es la más óptima desde el punto de vista de confort y estabilidad al reducir de forma independiente las oscilaciones generadas por el pavimento sin transmitir las de una rueda a otra del mismo eje. La principal ventaja añadida de la suspensión independiente es que posee menor peso no suspendido que otros tipos de suspensión por lo que las acciones transmitidas al chasis son de menor magnitud. Por contrario para cargas elevadas esta suspensión puede presentar problemas.

Actualmente éste tipo de suspensión es el único que se utiliza para las ruedas directrices.

El número de modelos de suspensión independiente es muy amplio y además posee numerosas variantes. Los principales tipos de suspensión de tipo independiente son:

- a. Suspensión de eje oscilante.
- b. Suspensión de brazos tirados.
- c. Suspensión McPherson.
- d. Suspensión de paralelogramo deformable.
- e. Suspensión multibrazo (multilink).

a. Suspensión de eje oscilante

La peculiaridad de este sistema que se muestra en la fig. 2.13, es que el elemento de rodadura (1) y el semieje (2) son solidarios (salvo el giro de la rueda), de forma que el conjunto oscila alrededor de una articulación (3) próxima al plano medio longitudinal del vehículo. Este tipo de suspensión no se puede usar como eje directriz puesto que en el movimiento oscilatorio de los semiejes se altera notablemente la caída de las ruedas en las curvas. Completan el sistema de suspensión dos conjuntos muelle-amortiguador telescópico (4).

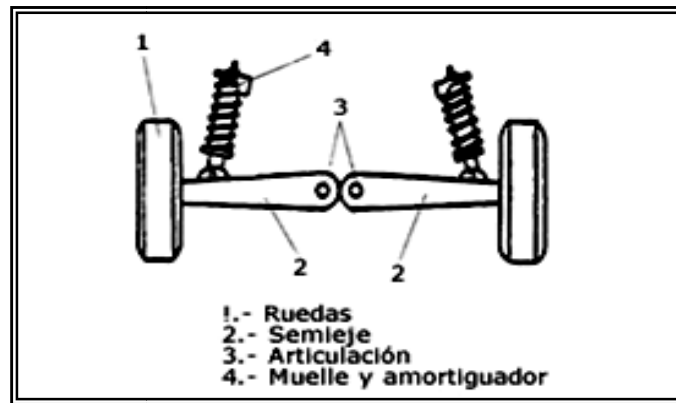


Figura 2.13 Esquema de una suspensión de eje oscilante.

b. Suspensión de brazos tirados o arrastrados

Este tipo de suspensión independiente se caracteriza por tener dos elementos soporte o "brazos" en disposición longitudinal que van unidos por un extremo al bastidor y por el otro a la mangueta de la rueda. Si el eje es de tracción, el grupo diferencial va anclado al bastidor. En cualquier caso las ruedas son tiradas o arrastradas por los brazos longitudinales que pivotan en el anclaje de la carrocería.

Este sistema de suspensión ha dado un gran número de variantes cuyas diferencias estriban fundamentalmente en cuál es el eje de giro del brazo tirado en el anclaje al bastidor y cuál es el elemento elástico que utiliza.

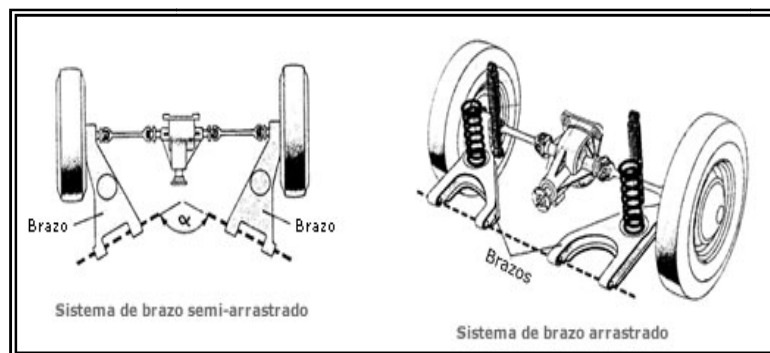


Figura 2.14 Suspensión de brazos tirados o arrastrados.

c. Suspensión McPherson

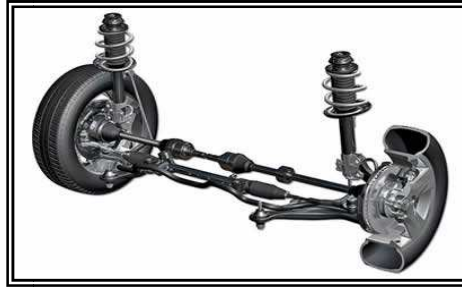


Figura 2.15 *Suspensión McPherson.*

Esta suspensión fue desarrollada por Earle S. McPherson, ingeniero de Ford del cual recibe su nombre. Este sistema es uno de los más utilizados en el tren delantero aunque se puede montar igualmente en el trasero. Este sistema ha tenido mucho éxito, sobre todo en vehículos más modestos, por su sencillez de fabricación y mantenimiento, el coste de producción y el poco espacio que ocupa. Con esta suspensión es imprescindible que la carrocería sea más resistente en los puntos donde se fijan los amortiguadores y muelles, con objeto de absorber los esfuerzos transmitidos por la suspensión.

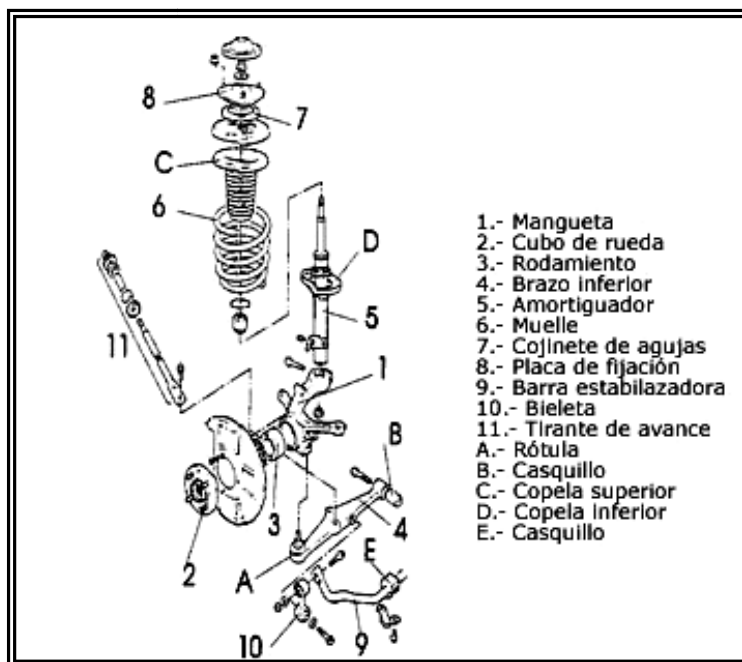


Figura 2.16 *Despiece de una suspensión McPherson.*

d. Suspensiones multibrazo o multilink

Las suspensiones multibrazo se basan en el mismo concepto básico que sus precursoras las suspensiones de paralelogramo deformable, es decir, el paralelogramo está formado por dos brazos transversales, la mangueta de la rueda y el propio bastidor.

La diferencia fundamental que aportan estas nuevas suspensiones es que los elementos guía de la suspensión multibrazo pueden tener anclajes elásticos mediante manguitos de goma. Gracias a esta variante las multibrazo permiten modificar tanto los parámetros fundamentales de la rueda, como la caída o la convergencia, de la forma más apropiada de cara a la estabilidad en las distintas situaciones de uso del automóvil. Esto significa que las dinámicas longitudinal y transversal pueden configurarse de forma precisa y prácticamente independiente entre sí, y que puede alcanzarse un grado máximo de estabilidad direccional y confort.

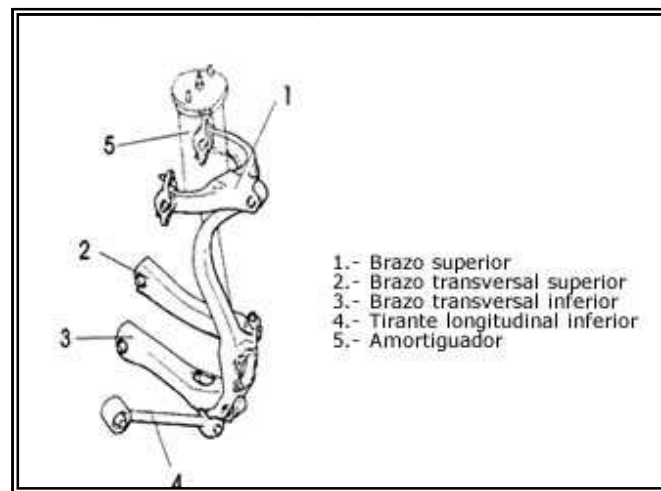


Figura 2.17 *Esquema de una suspensión multibrazo.*

Las suspensiones multibrazo se pueden clasificar en dos grupos fundamentales:

- Suspensiones multibrazo con elementos de guía transversales u oblicuos con funcionamiento similar al de las suspensiones de paralelogramo deformable.
- Suspensiones multibrazo que además disponen de brazos de guía longitudinal con un funcionamiento que recuerda a los sistemas de suspensión de ruedas tiradas por brazos longitudinales.

2.1.5 Tipos de sistema de suspensión

Existen varios tipos de sistema de suspensión, los cuales se clasifican en tres grupos principales:

- Suspensión pasiva.

- Suspensión semiactiva.
- Suspensión activa.

2.1.5.1 Suspensión pasiva

La suspensión pasiva corresponde a las suspensiones estudiadas en el tema anterior y, son las más utilizadas actualmente en vehículos pequeños y medios. A más de estos sistemas se le añade otro sistema de suspensión, como es el caso del sistema de suspensión hidroneumática.

La suspensión hidroneumática combina elementos hidráulicos y neumáticos que garantiza una suspensión suave y elástica, facilitando, además, el reglaje y nivelación de la carrocería de forma automática. Este tipo de suspensión viene incorporado generalmente en vehículos de costo moderado.



Figura 2.18 *Componentes básicos de la suspensión hidroneumática.*

2.1.5.2 Suspensión semiactiva

Mediante el empleo de sistemas regulados se permiten variar los mecanismos de suspensión y amortiguación para adaptarlos a necesidades de uso deportivo o confort. Por eso se habla del mecanismo de suspensión regulada, que utilizan al contrario que una suspensión convencional, componentes regulables que pueden estar

asistidos por la electrónica: sensores, módulos electrónicos, etc. Estos sistemas se denominan "semiactivos" y no necesitan de canal externo de energía.

Un ejemplo de este tipo de sistemas, es el sistema de suspensión neumática, que se estudiara más adelante.

2.1.5.3 Suspensión activa

Cuando se busca una mayor exigencia al sistema de suspensión, teniendo en cuenta factores como el estado de la calzada, velocidad, comportamiento en la conducción, etc. se necesita de un sistema de suspensión regulable que actúe sobre cada rueda de manera rápida y constante. Para conseguir este objetivo se necesita de un sistema de control mucho más complejo que los anteriores. La suspensión activa se compone de una serie de sensores y actuadores que necesitan de un canal externo de energía.

2.1.6 Suspensión neumática⁴

Las suspensiones neumáticas sustituyen los muelles, ballestas o barras de torsión, por unos pulmones de aire en cada rueda, que permiten los movimientos verticales de las mismas, efectuando en ellos una amortiguación debida a la variación de volumen y presión de aire del pulmón. Estos modelos de suspensión generalmente se realizan de flexibilidad variable y a ellos se adaptan dispositivos que permiten mantener la misma distancia de la carrocería al suelo con el vehículo cargado o vacío.

2.1.6.1 Componentes de la suspensión

a. Brazo muelle/amortiguador

La estructura básica de los cuatro brazos telescópicos muelle/amortiguador es idéntica.

El brazo de suspensión está formado por dos partes:

⁴ ALONSO, JOSÉ M., " Técnicas del Automóvil", 7ma. ed. España: Paraninfo. 2004, pp. 502

- Una neumática que sustituye al muelle de las suspensiones mecánicas convencionales y que sirve principalmente para nivelar la carrocería.
- Una suspensión de reglaje continuo de la amortiguación, que utiliza amortiguadores de tarado variable a través de unas electroválvulas que controlan el paso del aceite.

b. Muelle neumático

El muelle neumático es una versión guiada exteriormente, es decir, que va abrazada por un cilindro de aluminio. Para evitar la penetración de humedad entre el cilindro y el pulmón.

Para establecer la mayor capacidad útil posible en el maletero, con una anchura óptima para efectos de carga se procede a limitar a una cota mínima el diámetro de los pulmones en el eje trasero. Para satisfacer las exigencias de confort se requiere un volumen mínimo de aire. La solución de este conflicto consiste en integrar un depósito para un volumen de aire adicional, comunicado con el amortiguador.

Funcionamiento: El muelle neumático no sólo viene a sustituir al muelle de acero; en comparación con éste ofrece también ventajas esenciales. El nuevo guiado exterior del muelle neumático por medio de un cilindro de aluminio permite reducir el espesor de pared del pulmón de aire. Esto se traduce en una respuesta más sensible ante irregularidades del pavimento.

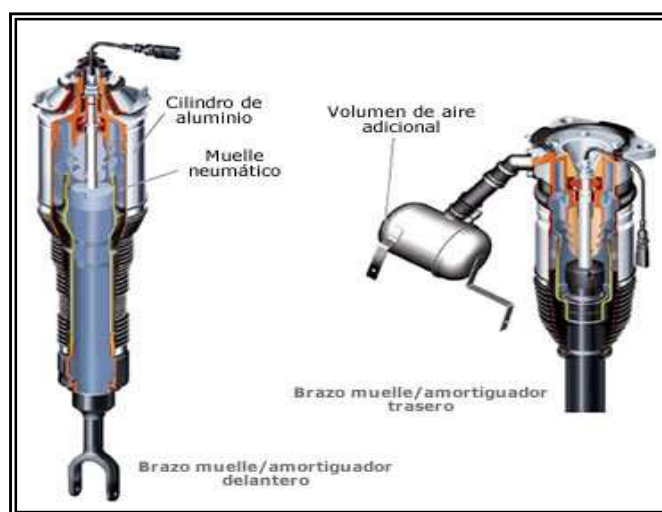


Figura 2.19 Esquema de un amortiguador de una suspensión neumática.

c. Amortiguador

Estructura: Se monta un amortiguador bi-tubo de gas presurizado con reglaje eléctrico continuo (continuous damping control = amortiguador CDC).

Funcionamiento: La fuerza de amortiguación viene determinada esencialmente por la resistencia que oponen las válvulas al flujo del aceite interno. Cuanto mayor es la resistencia al flujo del aceite que las traspasa, tanto mayor es la fuerza de amortiguación.

d. Grupo de alimentación de aire

El grupo de alimentación de aire básicamente es un compresor integrado en el vehículo, además, de otros componentes como el deshidratador de aire, las electroválvulas y demás elementos que normalmente conforman la unidad de mantenimiento neumática de un compresor.

Para proteger el compresor contra un posible sobrecalentamiento se procede a desactivarlo si es necesario.



Figura 2.20 Grupo de alimentación de aire.

e. Bloque de válvulas electromagnéticas

El bloque de válvulas electromagnéticas incluye el sensor de presión y las válvulas para excitar los muelles neumáticos y el acumulador de presión.

f. Acumulador de presión.

El objetivo del acumulador es limitar al mínimo posible la conexión del compresor.

2.1.6.2 Funcionamiento de la suspensión neumática

Este sistema mantiene constante el nivel de la carrocería al valor elegido por el conductor, independientemente de la carga. Para hacerlo el sistema utiliza un compresor que envía aire a los muelles neumáticos por medio de las electroválvulas, hasta que se ha ajustado el nivel del vehículo. El nivel de la carrocería en el eje delantero y en el eje trasero es registrado por los sensores de nivel y es transmitido a la unidad de control.

Cada muelle neumático está comandado por una electroválvula que abre y cierra el paso de la presión de aire.

El circuito neumático funciona básicamente teniendo en cuenta dos períodos de funcionamiento: presurización y despresurización.

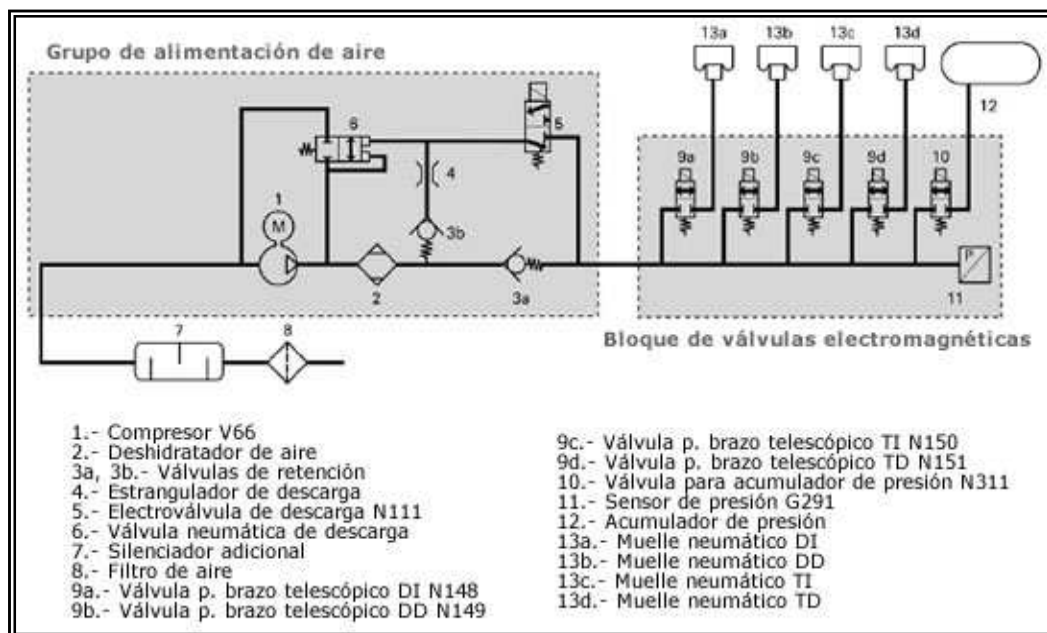


Figura 2.21 Esquema neumático de la suspensión.

a. Periodo de presurización

Al ser cargados los muelles neumáticos a través del acumulador de presión, la válvula (10) abre las válvulas (9) correspondientes por ejes. El acumulador de presión (12) se carga haciendo que el compresor (1) alimente aire a través de la válvula (10) abierta.

Si el vehículo se encuentra en posición lateralmente desigual también se excitan individualmente las válvulas (9a – 9d) de un lado hasta compensar esta posición. Las válvulas (9a, 9b y 9c, 9d) son excitadas eléctricamente por parejas (eje delantero y eje trasero). El aire es aspirado por el compresor (1) a través del filtro (8) y el silenciador adicional (7). El aire comprimido pasa a través del deshidratador (2), la válvula de retención 3a y las válvulas 9 hacia los muelles neumáticos.

b. Despresurización

Las válvulas (9a, 9b y 9c, 9d) y la electroválvula de descarga (5) abren. El caudal del aire puede pasar a través de la válvula de descarga (5) y abre así la válvula de descarga (6) neumáticamente pilotada.

El caudal del aire abandona el sistema a través de la válvula de descarga (6), el silenciador adicional (7) y el filtro de aire (8). El agente secante se regenera al pasar el aire por el deshidratador (2).

2.1.6.3 Sensores del sistema

- **Sensor de temperatura del compresor**

Se trata de una resistencia NTC en un pequeño cuerpo de vidrio. El sensor detecta la temperatura en la culata del compresor. Su resistencia se reduce a medida que aumenta la temperatura (NTC: coeficiente negativo de temperatura). Esta variación de la resistencia es analizada por la unidad de control.

El tiempo máximo de funcionamiento del compresor se calcula en función de la temperatura momentánea.

- **Sensor de presión**

Mide las presiones en los brazos telescópicos de los ejes delantero y trasero y en el acumulador de presión el sensor va empotrado en el bloque de válvulas electromagnéticas y no tiene acceso por fuera.

Funcionamiento: El sensor trabaja según el principio de medición capacitiva: La presión (p) a medir produce una desviación en una membrana de cerámica. Debido a ello varía la distancia entre un electrodo (1) instalado en la membrana y un electrodo contrario (2) que se encuentra fijo sobre la carcasa del sensor. Los electrodos constituyen por sí mismo un condensador. Cuanto menor es la distancia de los electrodos tanto mayor es la capacidad del condensador. La capacidad es medida por el sistema electrónico integrado y transformada en una señal lineal de salida. Mediante una excitación correspondiente de las electroválvulas es posible determinar las presiones de los muelles neumáticos y del acumulador

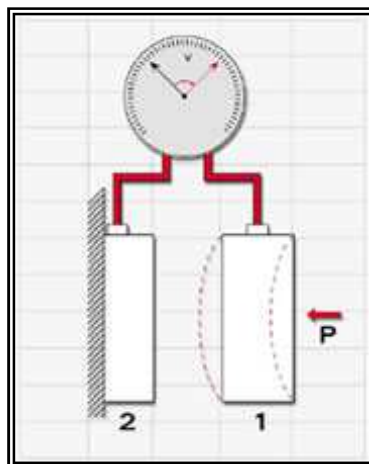


Figura 2.22 Principio de funcionamiento del sensor de presión.

- **Sensor de aceleración**

Para poder ajustar la amortiguación óptima en cada situación es preciso conocer el desarrollo cronológico de los movimientos de la carrocería (masa amortiguada) y de los componentes de los ejes (masa no amortiguada). Las aceleraciones de la carrocería se miden con ayuda de tres sensores. Dos de ellos se encuentran en las torretas de los brazos telescópicos delanteros; el tercero se halla en el guardarruedas trasero derecho.

La aceleración de los componentes de los ejes (masas no amortiguadas) se determina por análisis de las señales procedentes de los sensores de nivel del vehículo.

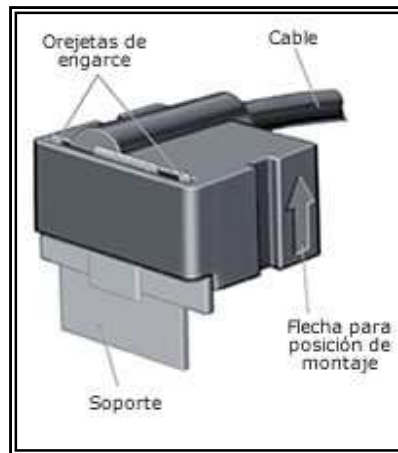


Figura 2.23 *Sensor de aceleración.*

- **Sensores de aceleración de la carrocería**

Los sensores van atornillados a la carrocería por medio de soportes. El sensor y el soporte están unidos por medio de engarce.

Funcionamiento: La masa sísmica con recubrimiento de metal se utiliza como electrodo móvil, que, conjuntamente con el contra electrodo superior e inferior, constituye respectivamente un condensador.

La capacidad de éste condensador depende de las superficies de los electrodos y su distancia mutua.

- **Sensores de nivel del vehículo**

Los cuatro sensores son de un mismo diseño, mientras que las sujeciones y bieletas de acoplamiento son específicas por lados y ejes.

Funcionamiento: Los sensores detectan la distancia entre los brazos oscilantes del eje y la carrocería, y con ello la altura de nivel del vehículo.

2.1.6.4 Concepto general de regulación

El cambio de nivel se realiza básicamente por ejes, corrigiéndose las diferencias de nivel entre el lado izquierdo y derecho del vehículo (causadas por cargas en un solo lado).

Al circular a velocidades por debajo de 35 km/h se emplea preferentemente el acumulador de presión a manera de fuente de energía. Esto presupone una suficiente

diferencia de presión de 3 bares como mínimo entre el acumulador de presión y el muelle neumático.

2.1.6.5 Operación de cambio de nivel

- **Ascenso**: Primero asciende el eje trasero y luego el eje delantero
- **Descenso**: Primero desciende el eje delantero y luego el eje trasero.

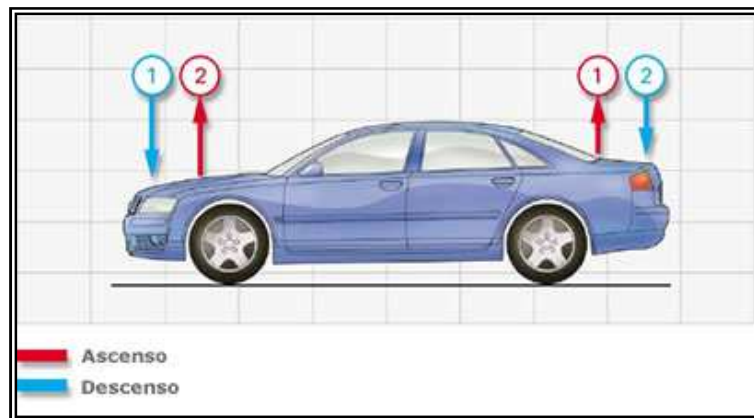


Figura 2.24 *Operación de cambio de nivel.*

Se ha previsto este orden, para descartar fiablemente la posibilidad de deslumbrar a terceros con motivo de los ciclos de regulación en caso de averiarse la regulación del alcance luminoso de los faros.

El sistema de regulación del alcance luminoso se emplea exclusivamente en vehículos con faros de xenón.

2.2 Conceptos básicos

2.2.1 Fuerzas que actúan en el vehículo⁵

El diseño de un sistema de suspensión se la realiza de tal manera que esta sea lo suficientemente eficaz, para impedir cualquier movimiento de la carrocería con respecto al suelo, de tal forma que el vehículo se mantenga en marcha en la posición más horizontal posible, tanto en línea recta como en curva, aceleraciones y frenadas.

⁵ ALONSO, JOSÉ M., " Técnicas del Automóvil", 7ma. ed. España: Paraninfo. 2004, pp. 455

Los movimientos de la carrocería se producen alrededor de sus tres ejes de simetría como se ve en la fig. 2.25 El giro sobre el eje G-Z produce un movimiento de viraje, mientras que el relativo al eje G-X es causa de balanceo, y el referente al G-Y produce el cabeceo.

Cualquiera de estos movimientos causa inestabilidad en la marcha del vehículo e inclusive incomodidad en los pasajeros, por lo que estos deben ser absorbidos en lo máximo posible.

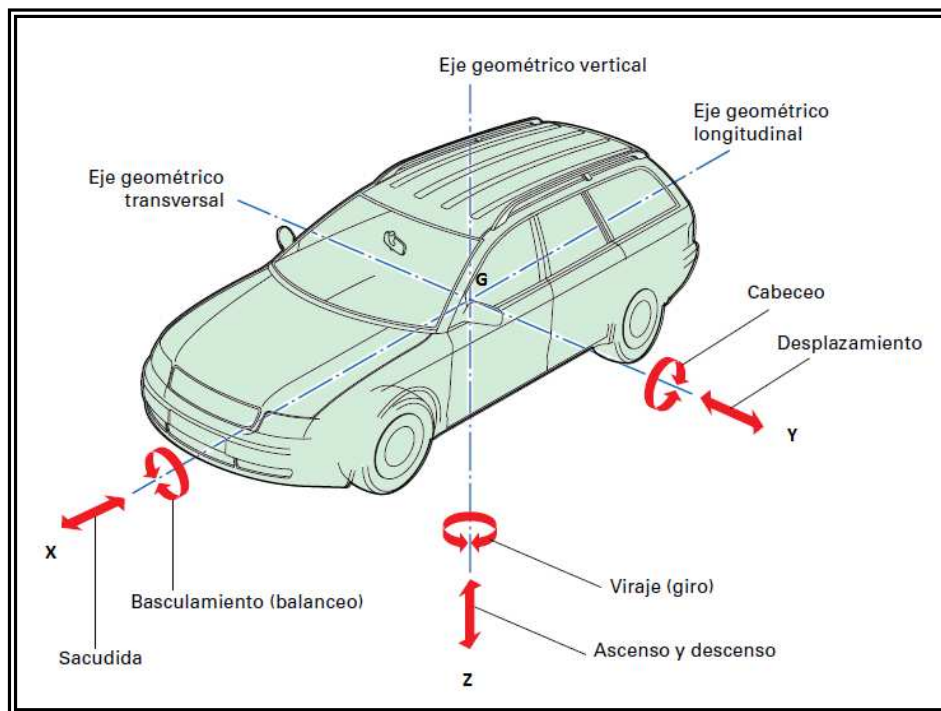


Figura 2.25 *Fuerzas que actúan en el vehículo.*

2.2.1.1 **Balanceo y cabeceo**

La primera cuestión de las transferencias de masas, iniciada por cualquier acción sobre el acelerador, el freno o la dirección tiene su reflejo inmediato en el confort de marcha; cuanto más intensa o brusca es la maniobra y elevada sea la velocidad, mayor será la incomodidad del pasajero. No obstante, esa sensación, síntoma de una transferencia de carga, no es la mayor las consecuencias para la dinámica del coche. Al acelerar, el morro del coche se levanta; es decir las ruedas delanteras perderán lastre, y, en consecuencia, adherencia, mientras que las traseras se cargarán, incrementando su adherencia. Al frenar, sucede lo contrario: el peso se transfiere al eje delantero y el

posterior se aligera. En condiciones normales, una distribución de pesos del 50% en cada eje, por ejemplo, puede variar al acelerar para situarse en un 30-70%, mientras que en un frenada intensa esta diferencia puede ser perfectamente de un 80-20%. Esta transferencia de cargas a lo largo del eje longitudinal se le conoce como cabeceo, mientras que el otro movimiento básico del coche se le denomina balanceo.

El balanceo es producido por un basculamiento del peso a lo largo del eje transversal del coche cuando se gira y se realiza sobre los dos ejes, con el resultado de un balanceo delantero y otro trasero.

Como sabemos, el desplazamiento del peso de un lado al otro del vehículo crece al cuadrado de la velocidad, es decir, en progresión geométrica. Por lo tanto, debemos tener muy clara la velocidad a la que circulamos para prever las consecuencias de una maniobra sobre el basculamiento de los pesos y deberemos aprender a distinguir diversas técnicas de conducción y tipo de trayectorias (curvas lentas o rápidas, por ejemplo) en función de nuestra velocidad de paso. Por ejemplo, frenar en un curva cerrada puede ser útil para ayudar a mantener el morro ceñido al viraje, pero será un error clamoroso hacerlo en una rápida, especialmente sobre firme húmedo, porque contribuirá girar el morro en exceso propiciando un levantamiento de la zaga que hará que el coche tienda a girar sobre su propio eje, propiciando el inicio de un hermoso trompo. Algo similar sucede con el neumático, cuya calidad de adherencia depende de las fuerzas aplicadas y que actúan en dos direcciones: en sentido longitudinal y en sentido transversal. Si, además, consideramos la deformación de los neumáticos, la merma de adherencia producida en las ruedas interiores no se recupera totalmente en las exteriores. También influye el tarado de la suspensión del coche; un compromiso que prime el confort hará que el coche se balancee más en curva contribuyendo a que el neumático no trabaje en buenas condiciones y pierda aún más adherencia. El remedio para que no suceda eso, está claro: limitar las transferencias de pesos para reducir el balanceo.

En definitiva todas la maniobras al límite, sean frenadas, aceleraciones o negociación de virajes apurando la aceleración lateral soportable por el coche no deben combinarse con otras acciones que lleven a una crisis de la adherencia disponible. O en cualquier caso, las acciones deben sucederse con orden.

2.2.1.2 La unión al suelo

Las llantas, guiadas por la suspensión, garantizan permanentemente el contacto con el suelo de los cuatro neumáticos, independientemente de las irregularidades y los movimientos del habitáculo: balanceo o cabeceo. La calidad del contacto entre el neumático y el suelo determina la precisión de la conducción y la capacidad de transmisión de los esfuerzos del vehículo o la calzada.

2.2.2 Sistemas de muelles

En su condición de componentes del sistema, los elementos de muelle establecen la unión entre la suspensión de las ruedas y la carrocería. Este sistema halla su complemento en el efecto elástico de los neumáticos y de los asientos en el vehículo.

Los elementos que se utilizan son muelles de acero, gas/aire y goma/elastómeros o combinaciones de estos elementos. En el sector de los turismos se han arraigado los sistemas con muelles de acero. Hay muelles de acero en múltiples diseños, entre los cuales las versiones helicoidales son las que más proliferación han alcanzado.

Las suspensiones neumáticas, que desde hace muchos años han hallado una extensa propagación en el sector de los camiones, se viene implantando cada vez más en el sector de los turismos, debido a las ventajas inherentes a éstos sistemas.

En el vehículo se diferencia entre las:

- **Masas muelleadas** (la carrocería con el grupo moto propulsor y partes del tren de rodaje).
- Las **masas no muelleadas** (las ruedas con los frenos, así como partes del tren de rodaje y de los palieres).

El sistema de muelles transforma al vehículo en un cuerpo capaz de oscilar a una frecuencia propia de la carrocería, que viene definida por las masas muelleadas y por el tarado del sistema de muelles.

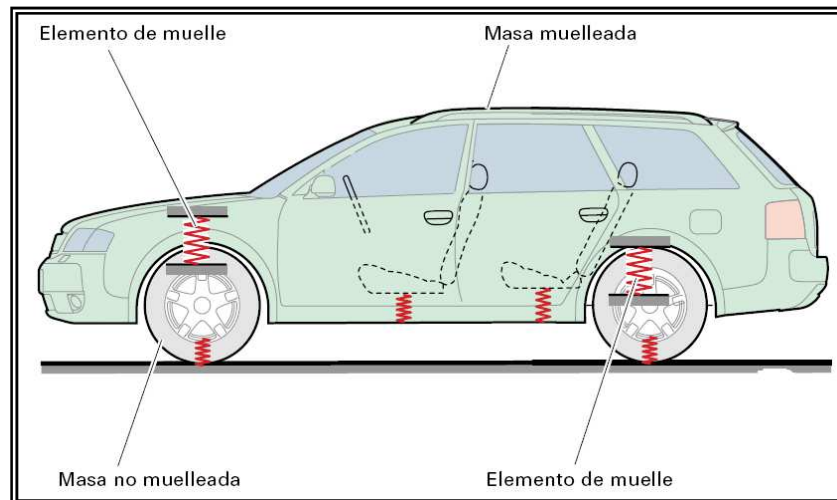


Figura 2.26 Sistema de masas muelladas.

2.2.2.1 Masas no muelladas

Básicamente se aspira a mantener lo más reducidas posibles las masas no muelladas, para minimizar su influencia en el comportamiento a oscilaciones (frecuencia propia de la carrocería). Aparte de ello, mediante una menor inercia de las masas se reducen las sollicitaciones de golpes a que se someten los componentes no muellados y mejora de forma importante el comportamiento de respuesta de la suspensión. Estos efectos se traducen en un claro aumento del confort de la conducción.

Ejemplos de reducción de las masas no muelladas:

- Llanta de aleación con radios huecos.
- Componentes del tren de rodaje en aluminio (mangueta delantera, mangueta trasera, brazos oscilantes, etc.).
- Optimizaciones en peso de componentes del tren de rodaje (p. ej. de los cubos de rueda).

2.2.3 Oscilación

Si una masa sujeta a un muelle es extraída de su posición de reposo por el efecto de una fuerza, se genera en el muelle una fuerza de recuperación, que obliga a la masa a oscilar en retorno. La masa oscila durante esa operación, volviendo a sobrepasar su posición de reposo, lo cual engendra nuevamente una fuerza de recuperación. Esta

operación se repite las veces que sean necesarias hasta que se neutralice la oscilación, debido a la resistencia del aire y a la fricción interna del muelle.

2.2.3.1 Frecuencia propia de la carrocería

Las oscilaciones se definen por su amplitud y frecuencia. Al determinar el tarado de las suspensiones se dedica una especial atención a la frecuencia propia de la carrocería.

La frecuencia propia de las masas no muelleadas en un vehículo de categoría media se halla entre los 10 Hz y 16 Hz. Mediante un tarado correspondiente del sistema de la suspensión, la frecuencia propia de la carrocería (masa muelleada) se halla entre 1 Hz y 1,5 Hz.

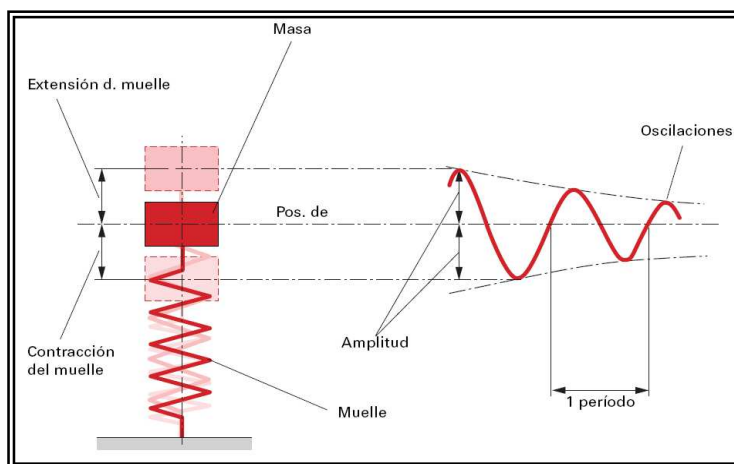


Figura 2.27 *Frecuencia propia de la carrocería.*

La frecuencia propia de la carrocería viene definida, en esencia, por los datos característicos de los muelles (coeficiente de rigidez) y por la masa muelleada. Una mayor masa o un muelle más blando se traducen en una baja frecuencia de la carrocería y un mayor recorrido del muelle (amplitud).

Una masa más pequeña o un muelle más duro dan por resultado una mayor frecuencia propia de la carrocería y un menor recorrido del muelle.

Según la sensibilidad de la persona, una frecuencia propia de la carrocería por debajo de 1 Hz provoca náuseas. Las frecuencias superiores a 1,5 Hz afectan el confort y, a partir de unos 5 Hz se perciben como sacudidas o agitaciones.

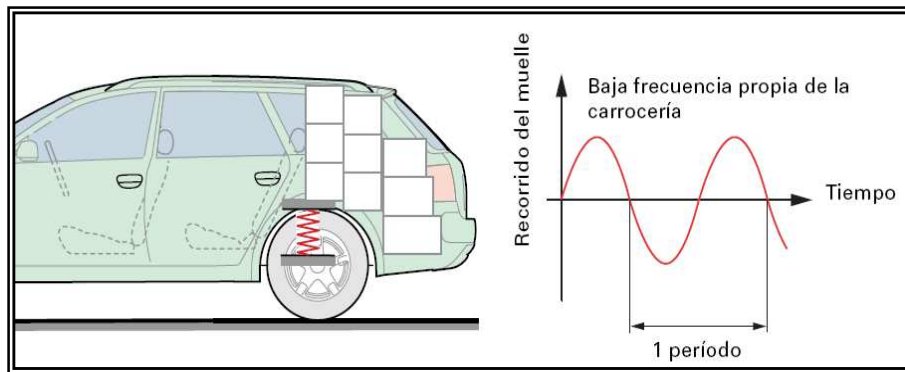


Figura 2.28 Masa o muelle más blando.

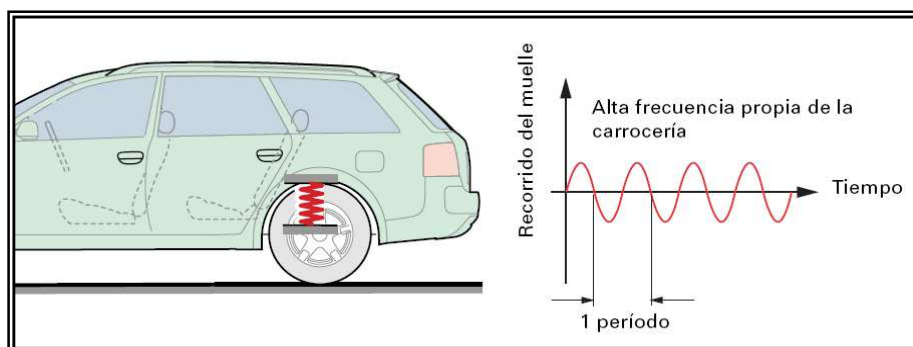


Figura 2.29 Masa o muelle más duro.

CAPITULO III

3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN NEUMÁTICA.

3.1 Requerimientos del sistema de control para la suspensión neumática

El sistema de suspensión neumática instalado en el vehículo mazda 323 se divide básicamente en dos fases, una mecánica la cual se compone de elementos comúnmente utilizados en un sistema neumático, además de mecanismos que ayudan a controlar las variaciones de nivel en la carrocería, y una fase eléctrica y electrónica, en donde se utiliza componentes electrónicos como los sensores que proporcionan información al módulo de control electrónico, con el fin de controlar la suspensión del vehículo.

El módulo de control electrónico recibe la información de los sensores (nivel, velocidad entre otros) y se encarga de procesar la información recibida para dar órdenes a los actuadores (electroválvulas), para obtener un resultado final que es la determinación del nivel y dureza del sistema de suspensión

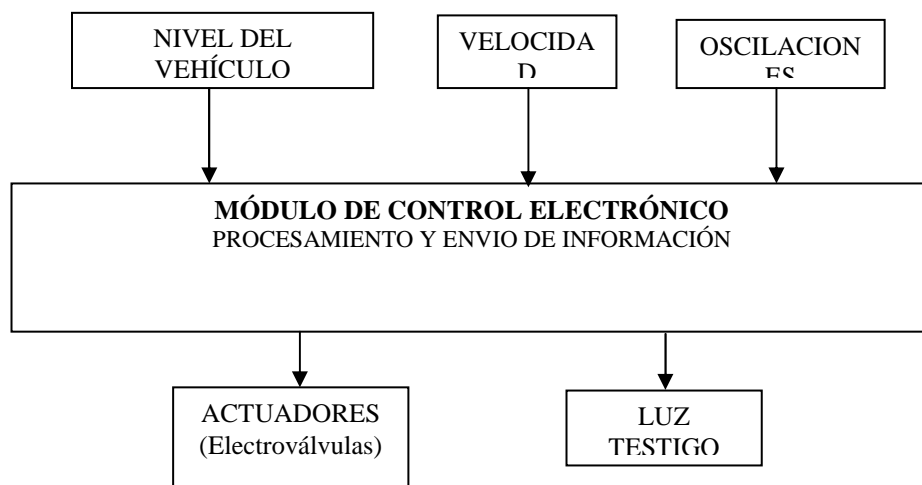


Figura 3.1 *Diagrama de entrada y salida del módulo.*

3.2 Características del sistema

La principal característica del sistema de suspensión neumática es mejorar la estabilidad y el confort del vehículo, con respecto al sistema de suspensión mecánico convencional. Además, el sistema trabajará en dos modos de funcionamiento:

- Modo manual.
- Modo automático.

3.2.1 Modo manual

El conductor tendrá la capacidad de regular la altura del vehículo de acuerdo a las condiciones más recomendables para el correcto funcionamiento del mismo.

En este, caso la lectura de los sensores no se toma en cuenta, únicamente se considera la lectura del switch de presión del sistema para permitir que el compresor cargue de aire al sistema, cuando éste lo requiera.

3.2.2 Modo automático

En este modo se trabaja de acuerdo a los parámetros establecidos por la unidad de control. Aquí se toma en cuenta las lecturas que envíen los diferentes sensores del sistema de suspensión neumática.

Las características de funcionamiento del sistema de suspensión neumática en el modo automático son:

- Regular la altura del vehículo con respecto al piso.
- Regular la altura del vehículo de acuerdo a la carga que éste soporte.
- Disminuir vibraciones que se producen en el vehículo cuando se esté conduciendo.

Las características que no dependen de los modos de trabajo de la suspensión neumática son:

- Este tipo de suspensión es ecológica, ya que el medio de accionamiento es el aire.
- Alta fiabilidad de funcionamiento, por su alta resistencia mecánica.

3.3 Fase mecánica

Anteriormente se indico que la fase mecánica consta de todo un sistema neumático básico como: compresor, mangueras, válvulas neumáticas y otros.

La suspensión neumática consta de los siguientes componentes principales:

- Elementos de muelle que son balonas tubulares arrollables.
- Los amortiguadores que se emplea son estándar.
- El grupo de alimentación de aire consta de una caja de metal compuesta por un compresor y válvulas reguladoras, y el depósito de aire que se ubica muy cerca de los demás elementos.

A continuación se detalla la selección del elemento adecuado para un correcto funcionamiento del sistema de suspensión neumática.

3.3.1 Selección del conjunto muelle - amortiguador

Este conjunto es el principal componente de un sistema de suspensión neumática, debido a que el mismo controla la suspensión. Debido a que existen varios tipos de éste conjunto muelle - amortiguador, en nuestro caso el conjunto seleccionado es del tipo pulmón de aire y amortiguador hidráulico.



Figura 3.2 *Conjunto muelle – amortiguador.*

Este consta de un amortiguador de tipo hidráulico y un pulmón de aire, que es controlado por medio de aire comprimido, se utiliza este tipo de componente, debido a que el sistema de suspensión del vehículo es independiente en las cuatro ruedas, tipo Mac Pherson. Se toma en cuenta la selección del pulmón de aire, debido a que el amortiguador hidráulico incorporado esta específicamente diseñado para el vehículo.

3.3.1.1 Selección del pulmón de aire

Para proceder a la selección del pulmón de aire se toma en cuenta la presión mínima requerida para elevar el vehículo.

a. Presión mínima requerida para elevar el vehículo

Para determinar la presión mínima requerida para elevar el vehículo se procede a tomar los siguientes datos que servirán de ayuda.

- Peso del vehículo

El peso del vehículo vacío se pesa en una balanza, en nuestro caso el resultado fue de 1000 Kg. Tomando como coeficiente de seguridad el 50% del peso total del vehículo, aduciendo otros factores como pasajeros, carga, fuerzas externas (baches, entre otros). Por lo tanto el peso para nuestro cálculo es:

$$\text{Peso } (P_t) = P_{vt} + \delta \quad (3.1)$$

$$\text{Peso Total del Vehículo } (P_{vt}) = 1000\text{kg.}$$

$$\text{Coeficiente de Seguridad } (\delta) = 50\%P_{vt} = 0,5(1000\text{kg})$$

$$\delta = 500\text{kg.}$$

$$P_t = 1000\text{Kg.} + 500\text{Kg.}$$

$$P_t = 1500 \text{ Kg.}$$

Para realizar el cálculo se divide el peso para cada neumático. Como es de conocimiento el peso total de los vehículos con tracción delantera se distribuye de la siguiente manera: 60% del peso total para la parte delantera y el 40% del peso total para la parte trasera.

$$\text{Peso neumáticos delanteros} = P_{td} = 60\%P_t$$

$$P_{td} = 0,6(1500\text{Kg}) = 900 \text{ Kg.}$$

$$\text{Peso neumáticos posteriores} = P_{tp} = 40\%P_t$$

$$P_{tp} = 0,4(1500\text{Kg}) = 600 \text{ Kg.}$$

El resultado obtenido es el peso total del vehículo distribuido en la parte delantera y posterior del vehículo, ahora para determinar el peso que va a soportar cada neumático se procede a realizar lo siguiente:

$$\text{Peso de cada neumático} = \frac{P}{n} \quad (3.2)$$

Donde:

p: Peso

n: Número de neumáticos

Debido a que el peso de la parte delantera y posterior del vehículo se distribuye para cada neumático respectivamente, entonces $n=2$.

$$P_{nd} = \frac{P_{td}}{n} \quad (3.3)$$

$$P_{nd} = \frac{900 \text{ Kg.}}{2} = 450 \text{ Kg.}$$

$$P_{np} = \frac{P_{tp}}{n} \quad (3.4)$$

$$P_{nd} = \frac{600 \text{ Kg.}}{2} = 300 \text{ Kg.}$$

Donde:

P_{nd} : Peso que soporta un neumático delantero.

P_{np} : Peso que soporta un neumático posterior.

Una vez obtenido el resultado del peso en cada neumático, se observa que existe mayor cantidad de peso en la parte delantera del vehículo, esto se debe a que en la parte delantera se encuentra alojado el motor, por lo tanto, para el cálculo correspondiente se toma en cuenta el mayor peso obtenido, en este caso es el peso que soporta un neumático delantero (P_{nd}), debido a que las dimensiones del pulmón de aire son las mismas para los cuatro neumáticos, y por ende es necesario que el cálculo se lo realice con el peso máximo que trabajará la suspensión.

- **Presión de aire del sistema.**

Para determinar si el pulmón de aire seleccionado va a resistir se procede a calcular la presión mínima que necesita el pulmón de aire para levantar el peso máximo de trabajo.

De los cálculos anteriores se deduce que el peso máximo que soporta un lado del vehículo es 450 Kg. y el espacio en donde va alojado el pulmón es de 12 cm.; este espacio se lo determinó teniendo en cuenta la medida del muelle original.

Para determinar la presión mínima (P_{min}) se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.5)$$

Donde:

σ : Presión mínima de trabajo ($\frac{lb.}{in^2}$)

F : Fuerza ejercida = P_{nd} (lb.)

A : Area minima (in^2)

Datos

Como datos tenemos lo siguiente:

$$F = P_{nd} = 450 \text{ Kg.} = 992,1 \text{ lb.}$$

El espacio del que se dispone es de 12 cm, pero para el cálculo se utiliza un espacio de 10 cm, por motivos de seguridad del pulmón, para evitar roces del mismo contra el guardabarros. Este espacio se asume como el diámetro requerido para el cálculo.

$$\text{Diámetro : } \varnothing = 10 \text{ cm} = 3,93 \text{ in.}$$

Tenemos:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$
$$\sigma = \frac{992,1 \text{ lb}}{A}$$

Calculamos A:

$$A = \pi \frac{\varnothing^2}{4} \quad (3.6)$$
$$A = \pi \frac{(3,93 \text{ in})^2}{4} = 12,13 \text{ in}^2$$

Entonces:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$
$$\sigma = \frac{992,1 \text{ lb}}{12,13 \text{ in}^2} = 81,78 \text{ Psi.} = 5,56 \text{ bares}$$

Como se observa la presión mínima de trabajo para levantar un lado del vehículo es de 5,56 bares.

En el mercado existen varios tipos de pulmones de aire, el que más se ajusta a nuestras condiciones es el siguiente:



Figura 3.3 Pulmón de aire.

Características.

- Fuelle Bilobular.
- Presión de rotura 34 bares.
- Presión máxima de trabajo 8,16 bares.
- Presión mínima de trabajo 0,68 bares.
- Carrera máxima 101.6 mm.
- Carrera mínima 27 mm.

Este tipo de fuelles bilobulares son muy adecuados para montajes anti vibratorios y de aislamiento contra choques, además, la carrera de trabajo es mucho más que un fuelle lobular.

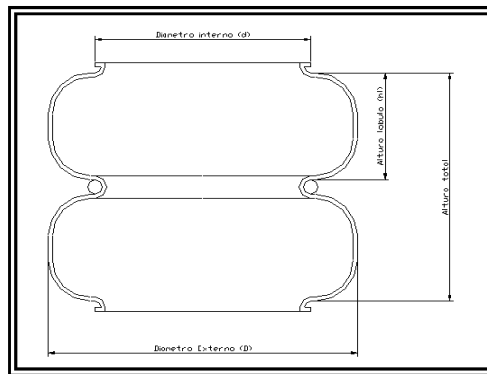


Figura 3.4 Dimensiones del pulmón de aire.

Tabla 3.1 DIMENSIONES DEL PULMÓN DE AIRE.

Denominación	Dimensiones (cm)
Diámetro interno (d)	10,2
Diámetro externo (D)	14,64
Altura del lóbulo (h _l)	5,2
Altura total (h _t)	11,1

El pulmón de aire seleccionado cumple con las condiciones de trabajo del sistema de suspensión requerido.

3.3.2 Selección del compresor

Para la selección del compresor se toma en cuenta la presión que se calcula cuando se selecciona el pulmón de aire, debido a que el principal actuador son los pulmones de aire.

En el mercado existen diferentes tipos de compresores, por lo cual se debe elegir el compresor adecuado para el sistema de entre una gran variedad de compresores, en nuestro caso se decidió que el sistema trabaje con un compresor de aire a pistón de simple efecto y una etapa de compresión cuyo sistema de refrigeración es por medio de aire.

Este compresor es ideal para el sistema debido a que cumple con las necesidades para el trabajo del sistema de suspensión neumática.

Dicho compresor posee las siguientes características:



Figura 3.5 *Compresor.*

Características:

- Tipo: DC 5000.
- Potencia: ½ Hp y 100% de ciclo de trabajo.
- Voltaje de trabajo: 12 voltios.
- Máxima presión: 200 psi (13,6 bares).
- Tiempo de compresión de 0 – 6,8 bares: 146 segundos.
- Tiempo de compresión de 0 – 13,6 bares: 6 minutos 40 segundos.
- Peso: 17 libras.

3.3.3 Selección de las electroválvulas

El sistema utiliza un grupo de electroválvulas, que tienen como función permitir el paso de aire comprimido hacia los pulmones de aire, en total existen 8 electroválvulas, de las cuales 4 permiten el ingreso de aire hacia los pulmones y 4 permiten la salida. Considerando éstas condiciones se eligieron las electroválvulas de tipo 2/2 vías, que trabajan con un voltaje de 12 voltios y una intensidad de 4 amperios.

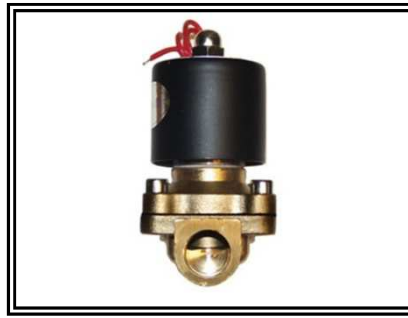


Figura 3.6 *Electroválvula.*

3.3.4 Diseño del sistema neumático

3.3.4.1 Distribución del sistema neumático

La distribución de los componentes del sistema neumático es el siguiente:

En la fig. 3.7, se indica el recorrido que realiza el aire comprimido del sistema de suspensión neumática.

Como se puede apreciar el aire comprimido se genera en el compresor, se almacena en el depósito y para que el aire no retorne al compresor se instaló una válvula check entre el compresor y el depósito.

Para limitar la carga de aire comprimido, en el depósito existe un switch de presión que permite que el aire se cargue hasta una presión determinada. El encendido y apagado del compresor depende del switch de presión, que es el que envía la señal hacia el compresor. La presión de carga máxima es de 9,86 bares. Y la presión a la cual se enciende el compresor para continuar con la carga es de 7,48 bares.

Continuando con el trayecto del aire comprimido, se encuentran las electroválvulas que son las encargadas de permitir el paso de aire comprimido hacia los pulmones de aire o a su vez permitir el desfogue de aire hacia el medio ambiente.

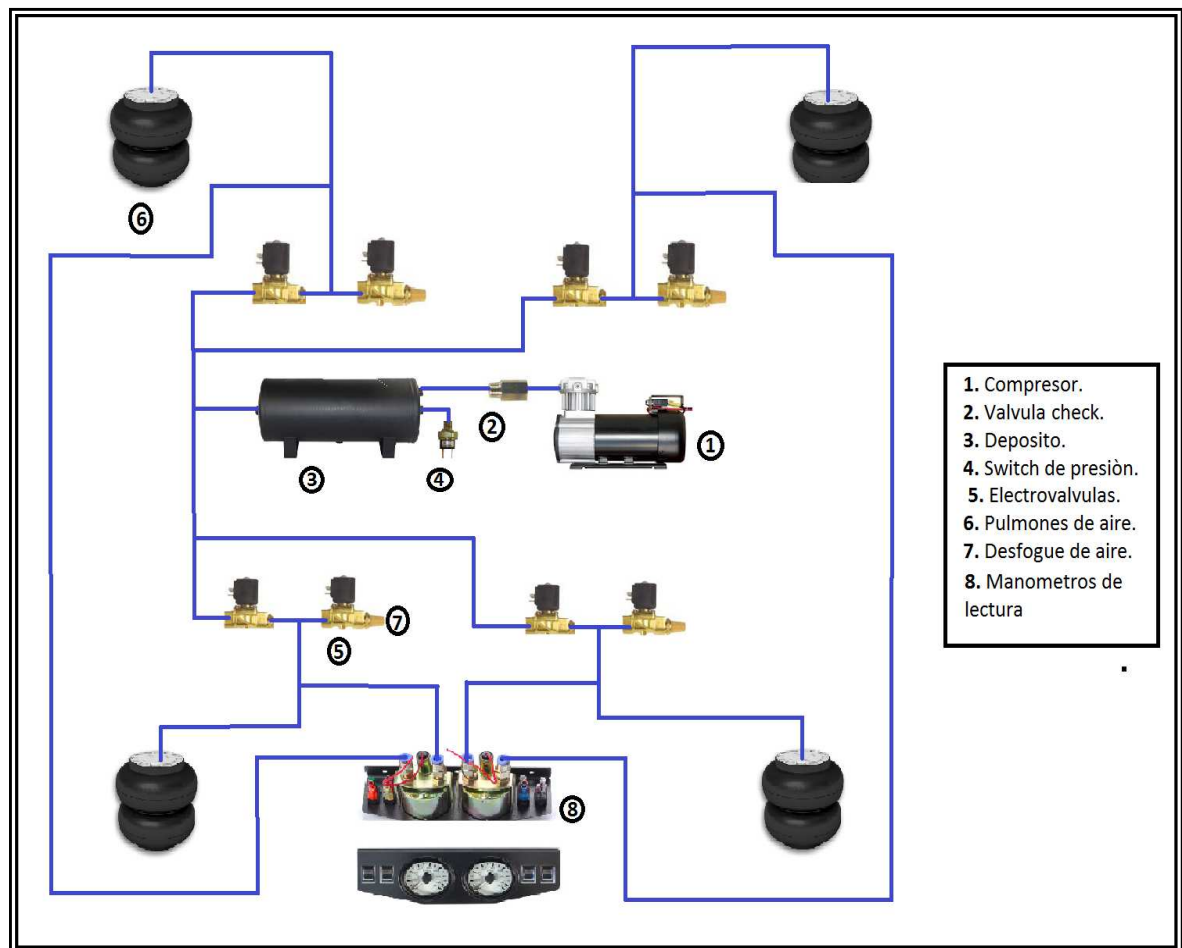


Figura 3.7 Esquema del sistema neumático.

3.3.4.2 Elementos que componen el sistema neumático

Los elementos que se utilizan para la implementación del sistema neumático son:

- 1 compresor DC5000.
- 1 filtro de aire.
- 1 válvula check.
- 1 silenciador de aire.
- 1 deposito de 12 litros.
- 1 purga de aire.
- 8 electroválvulas.
- 4 bushing.
- 4 reguladores de flujo.
- 1 manómetro de presión.

- 2 manómetros de presión de doble lectura.
- 8 uniones de 3/8" de diámetro.
- 5 codos de 3/8" de ángulo 90°.
- 20 metros de manguera de presión de 3/8" de diámetro.
- 20 metros de manguera de presión de 1/4" de diámetro.

3.3.4.3 Determinación del diámetro de la manguera

Para determinar el diámetro de la manguera se toma en cuenta la tabla 3.2.

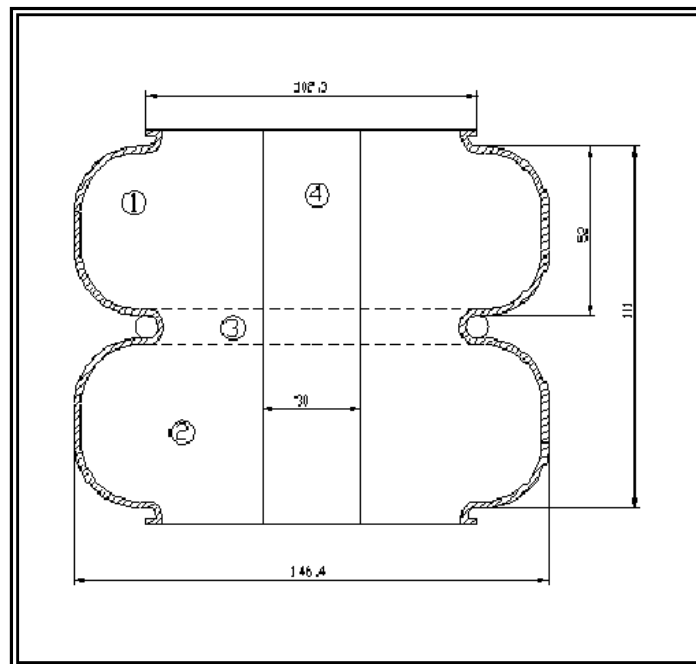


Figura 3.8 *Vista en corte del pulmón de aire y el vástago del amortiguador atravesado.*

Tabla 3.2 MEDIDAS DE MANGUERAS RECOMENDADAS⁶

Consumo de aire (FAD)		Medidas recomendadas
Cfm	m ³ /min	
0 – 20	0 – 0.57	5/16" (8 mm ⁶ .) para long. hasta 10 ft. (3 m). 3/8" (9.5 mm.) para long. hasta 25 ft. (7.5 m.). ½" (12.5 mm.) para long. hasta 50 ft. (15 m.).
20 – 30	0.57 – 0.85	3/8" (9.5 mm.) para long. hasta 25 ft. (7.5 m.). ½" (12.5 mm.) para long. hasta 50 ft. (15 m.).
30 – 40	0.85 – 1.13	3/8" (9.5 mm.) para long. hasta 25 ft. (7.5 m.). ½" (12.5 mm.) para long. hasta 50 ft. (15 m.).
40 – 50	1.13 – 1.42	½" (12.5 mm.) para long. hasta 50 ft. (15 m.). ¾" (19 o 20 mm) para long. hasta 50ft. (15 m.).
50 – 60	1.42 – 1.70	½" (12.5 mm.) para long. hasta 50 ft. (15 m.). ¾" (19 o 20 mm) para long. hasta 50ft. (15 m.).
60 – 70	1.70 – 2	½" (12.5 mm.) para long. hasta 50 ft. (15 m.). ¾" (19 o 20 mm) para long. hasta 50ft. (15 m.).
70 – 80	2 – 2.27	¾" (19 o 20 mm) para long. hasta 50ft. (15 m.).
80 – 90	2.27 – 2.55	¾" (19 o 20 mm) para long. hasta 50ft. (15 m.). 1" (25 mm.) para long. hasta 50 ft. (15m.).
90 – 100	2.55 – 2.83	¾" (19 o 20 mm) para long. hasta 50ft. (15 m.). 1" (25 mm.) para long. hasta 50 ft. (15m.).

Como se observa en la tabla 3.2, para determinar el diámetro recomendado de la manguera es necesario conocer el consumo de aire requerido, que es equivalente al caudal de aire necesario para llenar los pulmones de aire, por lo tanto, para determinar el caudal de aire, se calcula el volumen de aire que ingresa a los pulmones.

Como se observa en la fig. 3.8, el pulmón de aire tiene la forma de dos barriles unidos por medio de un cilindro, por la mitad del pulmón atraviesa una parte del vástago del amortiguador, el cual resta volumen de aire dentro del mismo.

En la tabla 3.3 se indican las medidas del pulmón de aire y del segmento de vástago del amortiguador para proceder al cálculo pertinente.

⁶ JIMENEZ DE CISNEROS, LUIS. "Manual de neumática". Editorial Blume. pp. 81

Tabla 3.3 DIMENSIONES DEL PULMÓN DE AIRE Y EL VÁSTAGO DEL AMORTIGUADOR.

Denominación	Dimensiones (cm)
Diámetro interno del pulmón (d_i)	10,2
Diámetro externo del pulmón (D_e)	14,64
Altura del lóbulo (h_l)	5,2
Altura total (h_t)	11,1
Diámetro del vástago (D_v)	0,3
Altura del segmento del vástago (h_v)	111

Como se observa en la fig. 3.8, se divide el volumen que se va a determinar por zonas, y se procede de la siguiente manera:

$$Volumen\ total = V_t = V_1 + V_2 + V_3 - V_4 \quad (3.7)$$

- **Volumen zona 1**

Datos:

$$D_e = 16,64\ cm.$$

$$d_i = 10,2\ cm.$$

$$h_l = 5,2\ cm.$$

Como se mencionó el pulmón tiene forma de barril, por lo tanto, la ecuación para calcular el volumen es:

$$V_1 \cong \frac{\pi}{12} h_l (2D_e^2 + d_i^2) \quad (3.8)$$

Se tiene:

$$V_1 \cong \frac{\pi}{12} 5,2 (2(16,64)^2 + (10,2)^2)$$

$$V_1 \cong 895,53\ cm^3$$

En la fig. 3.8 la zona 1 es igual a la zona 2, por lo tanto $V_1 = V_2$.

$$V_1 = V_2 = 895,53\ cm^3$$

- **Volumen zona 3**

La zona 3 es el espacio entre los dos lóbulos, tiene una altura (h_e) de 0,07 cm. y un diámetro igual al diámetro interno del pulmón, este espacio es cilíndrico y tiene una pequeña curvatura en un lado, cuyo volumen es despreciable. Por lo que se utiliza la ecuación de volumen de un cilindro.

Datos

$$d_i = 10,2 \text{ cm.}$$

$$h_e = 0,07 \text{ cm.}$$

Entonces la ecuación es:

$$V_3 \cong \frac{\pi}{4} d_i^2 h_e \quad (3.9)$$

Se tiene:

$$V_3 \cong \frac{\pi}{4} (10,2)^2 (0,07)$$

$$V_3 \cong 5,72 \text{ cm}^3$$

- **Volumen zona 4**

Datos:

$$D_v = 0,3 \text{ cm}$$

$$h_v = 11,1 \text{ cm.}$$

La forma del segmento del vástago es cilíndrica, por lo que se aplica la siguiente ecuación:

$$V_4 \cong \frac{\pi}{4} D_v^2 h_v \quad (3.10)$$

$$V_4 \cong \frac{\pi}{4} (0,3)^2 (11,1)$$

$$V_4 = 0,785 \text{ cm}^3$$

Una vez determinado los volúmenes de las 4 zonas existentes se obtiene el volumen total:

$$Volumen \text{ total} = V_t = V_1 + V_2 + V_3 - V_4$$

Como:

$$V_1 = V_2$$

$$V_t = 2V_1 + V_3 - V_4 \quad (3.11)$$

$$V_t = (2(895,53) + 5,72 - 0,785) \text{ cm}^3$$

$$V_t = 1795,99 \text{ cm}^3$$

Determinado el volumen, se puede establecer el caudal de aire para lo cual se infla el pulmón de aire en un tiempo (para nuestro caso el sistema de suspensión neumática) de 1 s.

Nota: si no se logra llenar el pulmón de aire durante ese tiempo se corre el riesgo de que el pulmón sufra daños y por ende su tiempo de vida se acorte.

Por lo tanto, el caudal para inflar un pulmón de aire es de:

$$Q_p = 1795,99 \frac{cm^3}{seg}$$

Puede darse el caso, que en un instante cualquiera se necesite inflar los 4 pulmones de aire a la vez. Para dicha particularidad se procede a multiplicar el caudal obtenido por el número de neumáticos, en este caso 4.

$$Q_t = 7183,9 \frac{cm^3}{seg}$$

Para determinar el diámetro de manguera se considera los datos de la tabla 3.2, en donde, es necesario que las unidades se expresen en m³/min, por lo tanto se tiene:

$$Q_t = 0,43 \frac{m^3}{min}$$

Una vez determinado el consumo de aire necesario para inflar el pulmón, se procede al cálculo de la longitud de la manguera.

La longitud de la manguera medida desde la salida del bloque de electroválvulas hacia el pulmón de aire de la rueda delantera derecha (que es la longitud más larga que existe en el sistema) es de 6 metros. De acuerdo con estos datos se recomienda trabajar con una manguera de 3/8" (9,5 mm) de diámetro. Según la tabla 3.2.

Otra forma de calcular el diámetro de la manguera de una instalación neumática, es mediante el uso de nomogramas, en este caso particular no se utiliza este método debido a que la longitud de la manguera y la caída de presión no son considerables, y la presión de trabajo es pequeña.

3.3.5 Mecanismo para determinar el nivel del vehículo

Como se mencionó anteriormente, el sistema de suspensión neumática es controlado por un módulo electrónico, para lo cual existen sensores que proveen la información necesaria al módulo para controlar la suspensión, por lo tanto, es necesario colocar un mecanismo que determine el nivel del vehículo.

El mecanismo diseñado tiene el principio de funcionamiento biela – manivela (ANEXO 1), consta de una varilla (biela) colocada sobre la mesa del vehículo y una platina (manivela) que conecta al sensor de nivel del vehículo, que está alojado en el guardabarros.



Figura 3.9 *Mecanismo de nivel de altura del vehículo.*

El mecanismo que se ha diseñado permite calcular la altura entre el eje de la rueda y el extremo inferior del guardafangos.



Figura 3.10 *Altura medida por el mecanismo.*

Esta altura se considera debido a que en el momento en que trabaja el sistema de suspensión neumática todo el conjunto de la carrocería cambia de altura con respecto al piso, excepto el eje de la rueda.

3.3.6 Diseño de la base donde se aloja el sistema de alimentación de aire

La implementación del sistema de suspensión neumática, incluye un grupo de alimentación de aire, que consta del compresor y el grupo de electroválvulas, alojados en una caja metálica, y el depósito de aire alojado cerca de los demás componentes. Por tal motivo, es necesario el diseño y construcción de una base metálica, en donde van alojados estos elementos.

Para el diseño de la base metálica se considera las dimensiones del grupo de alimentación de aire y del depósito, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.4 DIMENSIONES DEL GRUPO DE ALIMENTACIÓN DE AIRE Y DEPOSITO.

Grupo de alimentación de aire			Deposito	
Ancho (cm)	Altura (cm)	Profundidad (cm)	Diámetro (cm)	Profundidad (cm)
33,5	22,5	33,5	17	48

Utilizando las dimensiones obtenidas e indicadas en la tabla 3.4, se procede al diseño de la base metálica. Ésta debe colocarse en un lugar amplio, por lo cual se recomienda ubicarla en el maletero del vehículo.

A continuación se muestra un bosquejo de la base metálica.

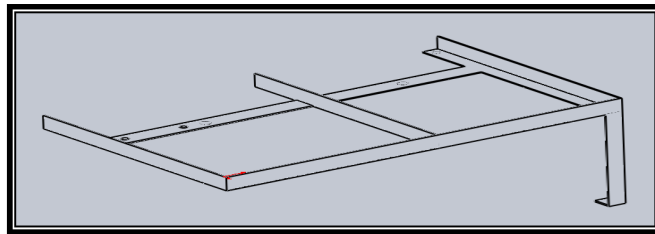


Figura 3.11 Base metálica.

Con la ayuda del programa solidworks se comprueba si el diseño cumple con los requerimientos, de soportar el grupo de alimentación de aire y el depósito.

3.3.6.1 Dimensiones de la base metálica

Las dimensiones de la base metálica (ANEXO 2) se determinan de acuerdo a las dimensiones del grupo de alimentación de aire y del depósito, además, del espacio disponible en el maletero del vehículo.

A continuación se muestra las medidas totales de la base metálica:

Tabla 3.5 DIMENSIONES DE LA BASE METÁLICA.

Base metálica		
Ancho (cm)	Altura (cm)	Profundidad (cm)
71	23,5	45

3.3.6.2 Diseño de la base metálica con solidworks

Una vez realizado el diseño de la base en el programa utilizando sus respectivas dimensiones, se procede a determinar si el diseño soportará las cargas que se alojarán.

Para ello se realiza lo siguiente en el programa:

- Se activa el asistente para simulación del programa SimulationXpress.
- El asistente solicita que se coloquen las sujeciones que soportarán a la base fig. 3.12.
- Se coloca las cargas que soportará la base metálica (en nuestro caso las cargas son de 25 Kg. del grupo de alimentación de aire y 3 Kg. del depósito de aire). Por lo tanto, las cargas se encuentran distribuidas así fig. 3.13.

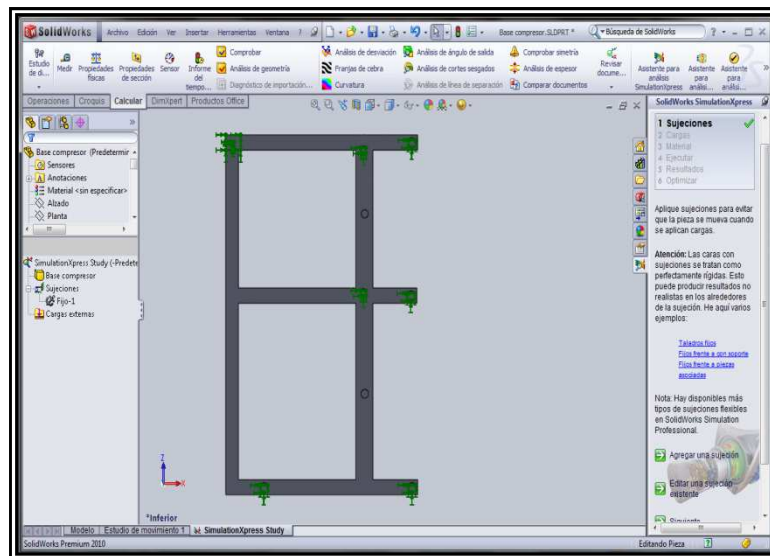


Figura 3.12 Sujeciones de la base metálica.

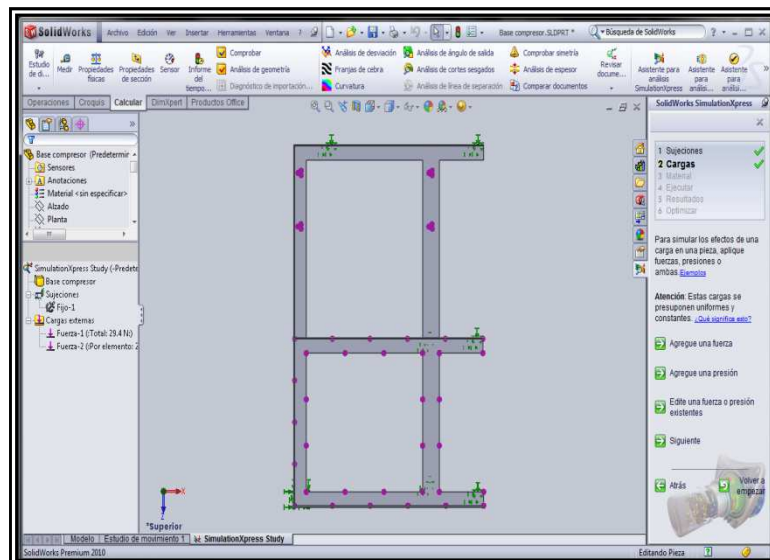


Figura 3.13 Distribución de cargas en la base metálica.

- Se elige el material de la base, de la lista de materiales se eligió un Acero ASTM 36 (ANEXO 3).

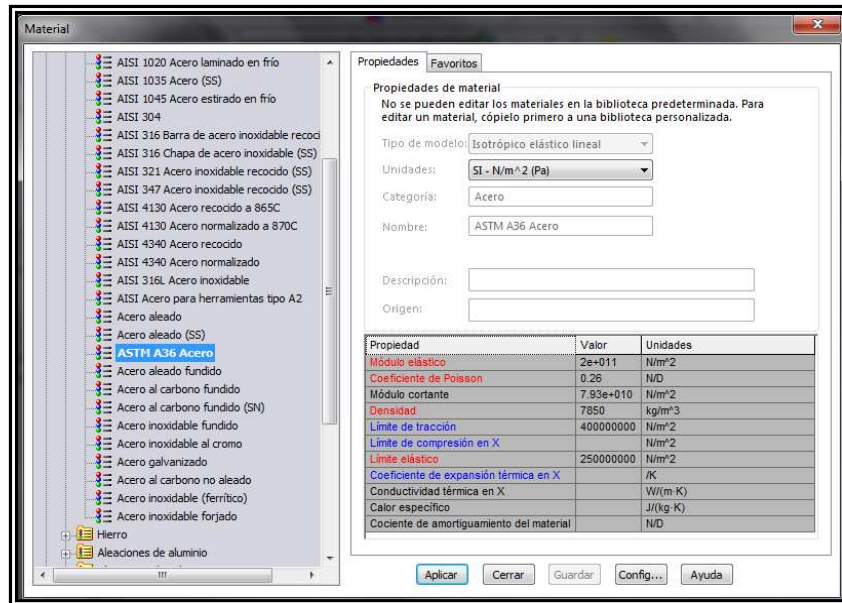


Figura 3.14 Lista de materiales.

- A continuación se efectúa la simulación en el programa, obteniendo lo siguiente:

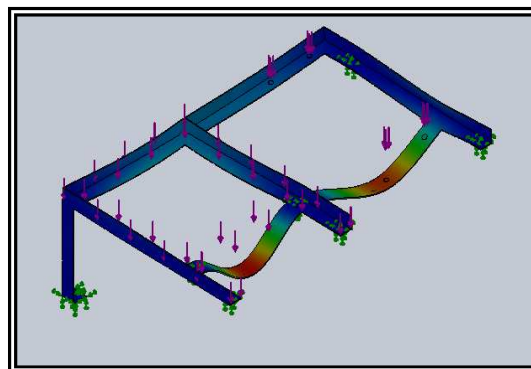


Figura 3.15 Deformación de la base metálica.

En la tabla 3.6 se muestran los datos, que el programa determina para el diseño.

Tabla 3.6 RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL DISEÑO DE LA BASE METÁLICA.

Dato	Valor
Tensión de Von Misses	5.62804e ⁺⁰⁰⁷ N/m ²
Deformación	0.498087 mm
Factor de seguridad	1,4

De acuerdo a las características del material y los resultados obtenidos se comprueba que la base soportará la carga establecida.

3.4 Fase Eléctrica y Electrónica

3.4.1 Selección de sensores

El sistema de suspensión neumática incorpora los siguientes sensores:

- Sensor de nivel.
- Sensor de velocidad.
- Switch de presión.

3.4.1.1 Sensor de nivel

Para determinar la altura a la que se encuentra el vehículo, es necesario incorporar un sensor que determina la carrera de contracción entre el eje de la rueda con respecto a la carrocería. Por lo tanto, se incorpora un sensor que es capaz de medir esas variaciones e interpretarlas en altura.

El sensor de nivel es de tipo potenciómetro, consta de tres conexiones, una alimentación, una masa y una señal.

El funcionamiento de este sensor es idéntico al funcionamiento de un potenciómetro común, es decir, existe un voltaje de alimentación (5 voltios), una masa y una señal que transmite las variaciones de voltaje en un rango de 0,5 – 4,5 voltios. Estas variaciones son enviadas por el cable de señal y recibidas en el módulo de control, este a su vez procesa la señal para determinar la altura del eje de la rueda con respecto a la carrocería.

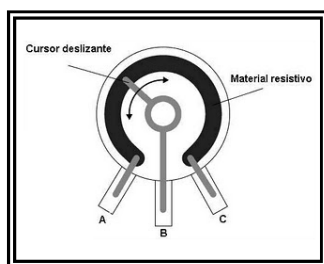


Figura 3.16 Esquema de un potenciómetro.



Figura 3.17 Sensor de nivel.

3.4.1.2 Sensor de velocidad

La colocación de un sensor de velocidad en el sistema de suspensión neumática, se debe a la necesidad de un dato de velocidad del vehículo, ya que el vehículo utilizado

no dispone de un sensor de velocidad capaz de leer las variaciones de la misma y enviarlas en forma eléctrica.

Para solucionar el problema se incorpora un sensor de tipo inductivo que consta de un imán permanente con una bobina alrededor y un reluctor montado en un eje. Cuando gira el reluctor sus dientes cambian la dirección de las líneas magnéticas generándose en la bobina una tensión eléctrica alterna y observándose una señal sinusoidal en el osciloscopio.

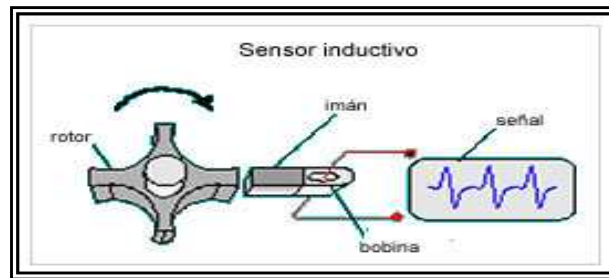


Figura 3.18 Principio de funcionamiento del sensor inductivo.



Figura 3.19 Sensor de velocidad.

El sensor de velocidad incorporado consta de tres cables, una alimentación (12 voltios), una masa y una señal (corriente AC).

3.4.1.3 Switch de presión

La incorporación del switch de presión, se debe a que es necesario que la presión generada por el compresor llegue a un punto máximo y permita que el compresor no cargue aire comprimido en exceso. De igual forma, al momento que exista una caída de presión debe ser capaz de energizar el compresor para que éste a su vez cargue de aire comprimido al sistema para su correcto funcionamiento.

Al incorporar este switch de presión se prolonga la vida del compresor debido a que éste no permanece encendido todo el tiempo, sino, únicamente cuando es necesario.



Figura 3.20 *Switch de presión.*

3.4.2. Selección del microcontrolador

Una vez determinado los tipos de sensores a utilizar y el tipo de actuadores a controlar, es necesario seleccionar un microcontrolador capaz de leer estas señales y procesarlas de manera que permita el correcto funcionamiento de las electroválvulas.

El microcontrolador debe poseer principalmente un conversor analógico-digital, debido a que las señales que emiten los sensores son de forma analógica.

Para nuestro caso y bajo las condiciones indicadas se eligió el microcontrolador 16f877A, que cumple con los requisitos establecidos (ANEXO 4).

3.4.3. Diseño del circuito de control automático

Para el diseño del circuito de control automático se consideran los siguientes parámetros:

- Parámetros de sensores.
- Condiciones de operación.
- Cartografía de operación.
- Diagrama de flujo.

3.4.3.1 Parámetros de sensores.

a. Sensor de nivel

Para determinar la altura de la carrocería con respecto al eje de la rueda se procedió a medir diferentes alturas y leer el voltaje enviado por el sensor de altura fig.

3.16.



Fig. 3.21 *Medición de altura.*

Se realiza este proceso para cada neumático, obteniéndose varios valores de altura en función del voltaje (ANEXO 5).

Con los datos obtenidos se tiene una ecuación lineal de altura en función del voltaje, para cada neumático.

A continuación se muestra las ecuaciones obtenidas para cada neumático:

- Ecuación lado delantero izquierdo.

$$h_{di} = 6,6527v + 17,74 \quad (3.12)$$

- Ecuación lado delantero derecho.

$$h_{dd} = 6,96v + 21,12 \quad (3.13)$$

- Ecuación lado posterior izquierdo.

$$h_{pi} = 3,785v + 27,38 \quad (3.14)$$

- Ecuación lado posterior derecho.

$$h_{pd} = 4,67v + 24,72 \quad (3.15)$$

Estas ecuaciones servirán para programar el microcontrolador que utiliza el módulo de control.

b. Sensor de Velocidad.

Para determinar la velocidad del vehículo se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = \frac{D_v}{t} \quad (3.16)$$

Donde:

V: Velocidad del vehículo.

D_v : distancia que recorre.

t: Tiempo.

Estos dos factores D_v y t. se determinan experimentalmente y mediante programación respectivamente.

Para determinar la distancia recorrida toman las lecturas del sensor de velocidad mediante el giro del mismo y el giro del neumático del vehículo.

Como se mencionó el sensor de velocidad emite ondas sinusoidales, es decir, emite variaciones de voltaje AC. Mediante visualización se dedujo que en un pulso del sensor, el vehículo recorre 1,65 metros, es así que se obtiene la distancia que recorre el vehículo en función de los pulsos que envía el sensor.

Tabla 3.7 DATOS OBTENIDOS PARA EL CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DEL VEHÍCULO.

Pulsos del sensor	Distancia (metros)
1	1,65
2	3,02
3	4,61
4	6,3

De acuerdo a los datos de la tabla 3.7 se deduce el tipo de gráfica que se obtiene y por ende la ecuación fig. 3.17.

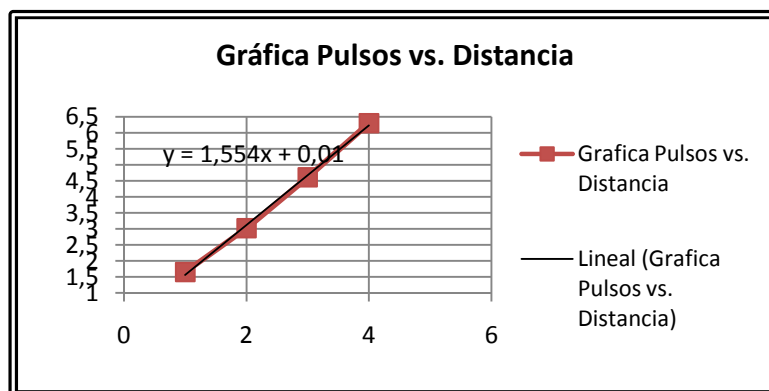


Fig. 3.22 Gráfica de distancia recorrida en función de los pulsos del sensor de velocidad.

Como se observa en la fig. 3.17 se obtiene la siguiente ecuación lineal.

$$D_v = 1,554p + 0,01 \quad (3.17)$$

Donde:

D_v : Distancia.

p: Pulsos del sensor.

Entonces reemplazando la ecuación 3.17 en la ecuación 3.16 Se tiene:

$$V = \frac{1,554p + 0,01}{t} \quad (3.18)$$

El tiempo (t) se lo calcula cuando se realiza la programación del dato de velocidad.

3.4.3.2 Condiciones de operación.

Las condiciones de operación están basadas únicamente en el funcionamiento de la suspensión neumática en el modo automático. Dicho modo se divide en tres submodos de funcionamiento: alto 1, alto, bajo y estacionamiento. Accionando el modo alto 1 de forma manual si el conductor cree necesario y el resto de modos automáticamente, la altura del vehículo determinará en qué modo se encuentra, para lo cual, según las pruebas realizadas se determina el siguiente rango de alturas:

Altura máxima (H_{\max}) = 40 cm \rightarrow 100% altura.

Altura mínima (h_{\min}) = 33 cm \rightarrow 0% altura.

A continuación se procede a la explicación del funcionamiento de cada uno de los modos.

a. Modo Alto 1

- Altura de trabajo: 40cm \cong 100% altura.
- Rango de velocidad: 0 a 20 Km/h.
- Accionamiento: Manual, por medio de un interruptor.
- Tiempo de espera luego del accionamiento: Inmediato.

Al momento de accionar el interruptor, se leen los datos de los sensores y mediante la lectura tomada, el nivel deberá subir al 100% de altura. Luego del accionamiento, los datos que envíen los sensores no serán considerados.

Si el rango de velocidad sobrepasa los 20 Km/h y se acciona el modo alto 1, se encenderá una luz de advertencia y el modo alto 1 no se activa, y permanecerá en el modo actual de trabajo.

b. Modo Alto

- Altura de trabajo: Mínimo: 40% \cong 36 cm; Máximo: 70% \cong 38 cm
- Rango de velocidad: 0 a 75 Km/h.
- Accionamiento: Automático, de acuerdo a los datos enviados por los sensores y velocidad del vehículo.

Cuando la velocidad este entre 0 a 75 Km/h, se acciona el modo alto, si la velocidad es ≥ 75 Km/h y el tiempo que permanece es $>$ a 60 s. se acciona el modo bajo. Si la velocidad es ≥ 75 Km/h y el tiempo que permanece es \leq a 60 s. se mantiene en modo alto. El auto debe estar nivelado, en lo posible mantener un 55% de altura.

c. Modo Bajo

- Altura de trabajo: Mínimo: $0\% \cong 33$ cm; Máximo: $40\% \cong 36$ cm.
- Rango de velocidad: ≥ 75 Km/h.
- Accionamiento: Automático, de acuerdo a los datos enviados por los sensores velocidad del vehículo.

Si la velocidad es ≥ 75 Km/h y el tiempo es $>$ a 60 s. se acciona el modo de alto a bajo. Si la velocidad es ≥ 40 Km/h el modo bajo se mantiene. Si la velocidad es < 40 Km/h y el tiempo es ≥ 90 s. se acciona el modo de alto a bajo. Si la velocidad es < 40 Km/h y el tiempo es ≤ 90 s. se acciona el modo bajo.

d. Modo estacionamiento

- Altura de trabajo: modo bajo
- Accionamiento: Automático, de acuerdo a los datos enviados por los sensores velocidad del vehículo.

Cuando el vehículo se detiene y se apaga el motor el modo de estacionamiento se activa después de 18 s. Si se enciende el vehículo y se mueve el mismo se desactiva el modo.

3.4.3.3 Cartografía de operación

Una vez impuesto las condiciones de operación se procede a realizar la cartografía de operación de los sensores de altura.

Para la elaboración de la cartografía se toma en cuenta los datos de voltaje que envían los sensores y además la velocidad del vehículo. Siendo la velocidad, la variable independiente y los valores que envían los sensores la variable dependiente.

Como se observó en las ecuaciones de altura las variaciones de voltaje no llegan a 0 voltios con respecto a la altura; sino, al contrario existe un voltaje diferente de cero para señalar la altura mínima. Para las condiciones de programación, la cartografía debe partir de cero, para esto se realiza una operación asumiendo que el voltaje mínimo de

cada sensor tiene un valor de 0 y de ahí se procede a determinar un factor que será aplicado para cada valor de voltaje del sensor.

Por lo tanto se tiene la siguiente cartografía para cada sensor (ANEXO 6).

a. Sensor delantero derecho (D.D.)

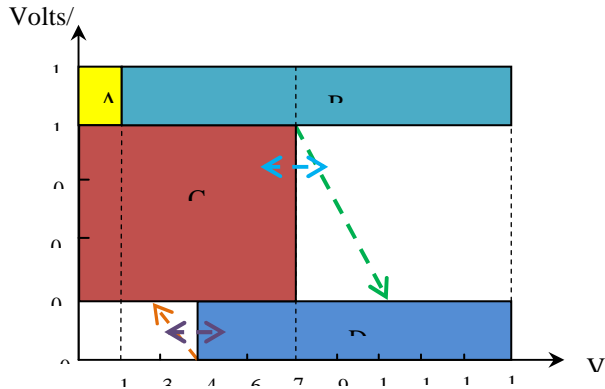


Figura 3.23 Cartografía sensor delantero derecho.

- $\uparrow \geq 60$ segundos
 $\leftarrow \downarrow \rightarrow \leq 60$ segundos
A = Modo alto 1 \rightarrow 100% Altura
B = Enciende la luz de advertencia y no se acciona el modo alto 1, permanece modo actual.
C = Modo alto \rightarrow 40 – 70% Altura
D = Modo bajo
- $\uparrow \geq 90$ segundos
 $\leftarrow - \rightarrow \leq 90$ segundos

Tabla 3.8 VALOR DE VOLTAJE/SEGUNDOS PARA LA CARTOGRAFÍA DEL SENSOR DELANTERO DERECHO.

Altura (h)	Voltaje (v)	Volts/seg.
40,7	2,83	1,19
39,9	2,7	1,06
38,7	2,50	0,86
37,6	2,36	0,72
35,3	2,05	0,41
32,6	1,64	0

3.4.3.4 Diagrama de flujo.

De acuerdo a las condiciones y cartografías determinadas para cada sensor de altura se tiene el diagrama de flujo fig. 3.24 y de acuerdo con esos datos se realiza la programación del módulo de control electrónico.

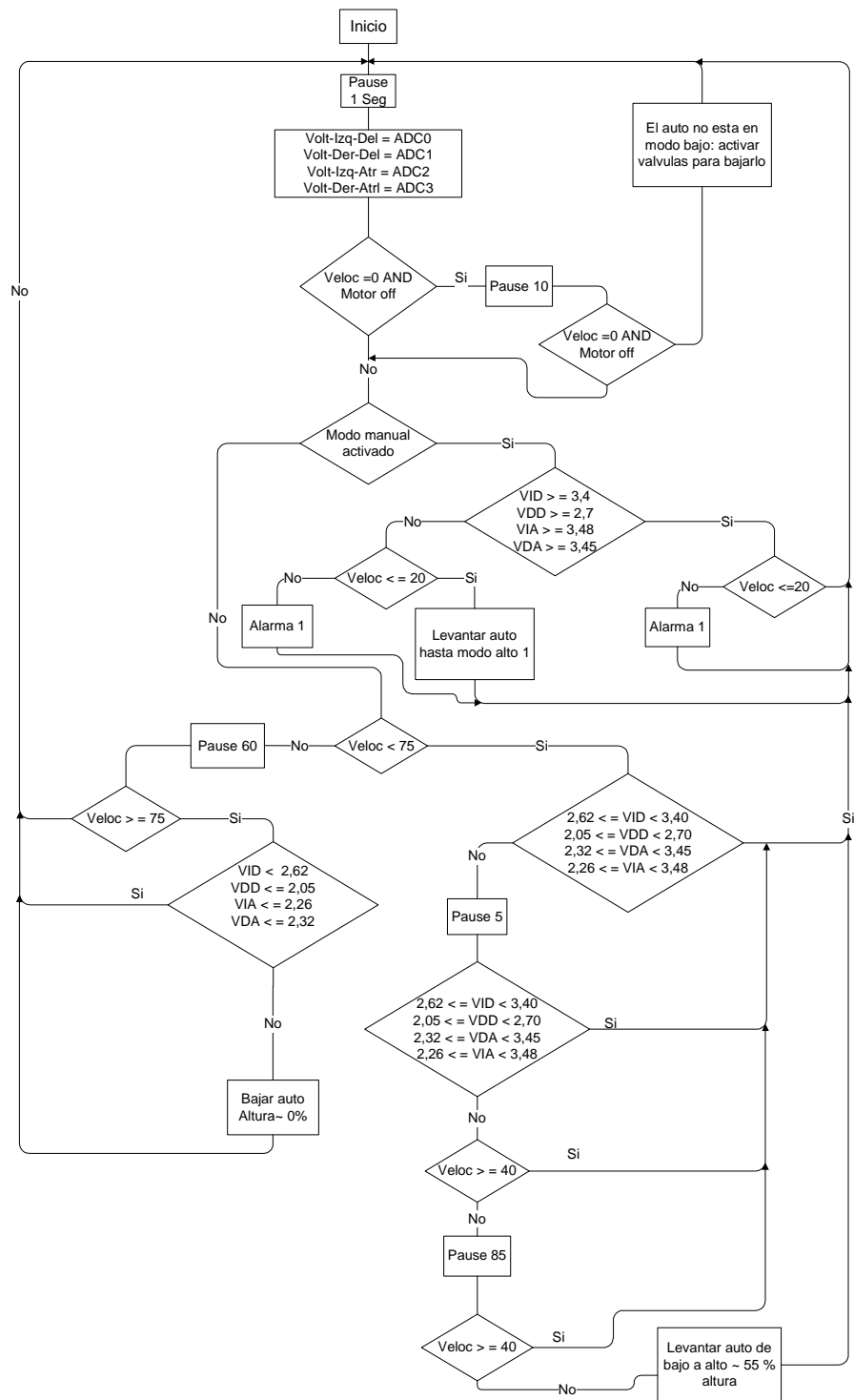


Figura 3.24 Diagrama de flujo del módulo de control.

3.4.3.5 Programación del módulo de control

A continuación se muestra la programación del módulo de control, ésta se la realizó en el programa mikrobasic.

```

program MarioTesis1
dim adc_izq_del as word

```

```

dim adc_der_del as word
dim adc_izq_atr as word
dim adc_der_atr as word
dim text_vel as string[7]
dim captura as integer
dim velocidad as integer
dim high_izq_del as string[5]
dim high_der_del as string[5]
dim high_izq_atr as string[5]
dim high_der_atr as string[5]
dim estado as string[6]
sub procedure interrupt
    INTCON.GIE = 0
    if TestBit(PIR1, CCP1IF) = 1 then
        if (PORTC.2 = 1) then
            CCP1CON = 0x04      'Configuro la Captura en el flanco de bajada
            'CONFIGURACION DEL TIMER 1
            T1CON = $31          'Enciendo el timer
        else
            CCP1CON = 0x05      'Captura en el flanco de subida
            captura = 0
            if CCPR1H.7 = 1 then captura = captura + 32768 end if
            if CCPR1H.6 = 1 then captura = captura + 16384 end if
            if CCPR1H.5 = 1 then captura = captura + 8192 end if
            if CCPR1H.4 = 1 then captura = captura + 4096 end if
            if CCPR1H.3 = 1 then captura = captura + 2048 end if
            if CCPR1H.2 = 1 then captura = captura + 1024 end if
            if CCPR1H.1 = 1 then captura = captura + 512 end if
            if CCPR1H.0 = 1 then captura = captura + 256 end if
            captura = captura + CCPR1L
            if (captura > 0)and(captura < 32000) then
                velocidad = 337500 / captura
            else
                velocidad = 0
            end if
        end if
        CCPR1L = 0
        CCPR1H = 0
        TMR1H = 0
        TMR1L = 0
        ClearBit(PIR1, CCP1IF)
    end if
    if TestBit(PIR1, TMR1IF) = 1 then      'Si se dio la interr por desbordamineto del timer1
        velocidad = 0
        TMR1H = 0
        TMR1L = 0
        'CONFIGURACION DEL TIMER 1
        T1CON = $30          'Àpago el timer
        ClearBit(PIR1, TMR1IF)
    end if
end procedure

```

```

INTCON.GIE = 1
end sub
sub procedure Escritura_LCD(dim count as byte, dim byref estado as string[6])
dim i as byte
if (count <> 0)then
for i = 0 to count
adc_izq_del = Adc_Read(0)
adc_der_del = Adc_Read(1)
adc_izq_atr = Adc_Read(2)
adc_der_atr = Adc_Read(3)
Lcd_Cmd(Lcd_CURSOR_OFF) ' Turn off cursor
'*****AQUI CONVERTIMOS DE FLOAT A STRING*****
FloatToStr(((6.652 * adc_izq_del * 0.00488) + 17.73), high_izq_del)
FloatToStr(((9.169 * adc_der_del * 0.00488) + 12.88), high_der_del)
FloatToStr(((3.786 * adc_izq_atr * 0.00488) + 27.38), high_izq_atr)
FloatToStr(((4.669 * adc_der_atr * 0.00488) + 24.71), high_der_atr)
Lcd_Cmd(Lcd_Clear)
Lcd_Out(1, 1, "H1:") ' Print text at LCD
Lcd_Out(1, 4, high_izq_del) ' Print text at LCD
Lcd_Out(2, 1, "H2:") ' Print text at LCD
Lcd_Out(2, 4, high_der_del) ' Print text at LCD
Lcd_Out(3, 1, "H3:") ' Print text at LCD
Lcd_Out(3, 4, high_izq_atr) ' Print text at LCD
Lcd_Out(4, 1, "H4:") ' Print text at LCD
Lcd_Out(4, 4, high_der_atr) ' Print text at LCD
IntToStr(velocidad, text_vel)
Lcd_Out(2, 14, "Vel:") ' Print text at LCD
Lcd_Out(3, 14, text_vel) ' Print text at LCD
Lcd_Out(4, 14, estado) ' Print text at LCD
'*****FIN CONVERSION Y ESCRITURA AL LCD *****
Delay_ms(1000)
next i
else
adc_izq_del = Adc_Read(0)
adc_der_del = Adc_Read(1)
adc_izq_atr = Adc_Read(2)
adc_der_atr = Adc_Read(3)
Lcd_Cmd(Lcd_CURSOR_OFF) ' Turn off cursor
end if
end sub
main:
TRISA = $0F 'parte alta como entrada
ADCON1 = $80 'Configuro el ADC
TRISC = $0F 't
TRISD = $00 ' PORTD high is output
TRISB = 0 ' PORTB is output
'LIMPIO LAS SALIDAS
Portd = 0
Portc.4 = 0

```



```

'CONFIGURACION DE PRIORIDADES E INTERRUPCIONES
INTCON.GIE = 1          'Habilitamos interrupción
INTCON.PEIE = 1

```

```

'CONFIGURACION DEL TIMER 1
'T1CON = $31
PIE1.TMR1IE = 1        'Habilito la interrupción de TMR1
PIR1.TMR1IF = 0        'Limpio la bandera
'CONFIGURACION DE CAPTURAS
PIE1.CCP1IE = 1        'Habilito la interrupción del modulo de captura del CCP1
PIR1.CCP1IF = 0        'Limpio la bandera de interrupción del CCP1
CCP1CON = 0x05         'B'00000101' para configurar el registro CCP1CON La
                        primera captura es en el flanco ascendente

Lcd_Init(PORTB)        ' Initialize LCD on PORTB
    velocidad = 0
    while TRUE
        PORTC.7 = 1    ' Enciendo el LCD
        estado = "BAJO"

Inicio:
    Escritura_LCD(1, estado)
    if ((velocidad = 0)and(Portc.0 = 1))then    'El pin Portc.0 se lee como lógica negativa
        (el motor esta apagado??)
        Escritura_LCD(10, estado)
        if ((velocidad = 0)and(Portc.0 = 1))then
            *****INICIO CICLO WHILE 1 *****
            if ((adc_izq_del > 578)or(adc_der_del > 410)or(adc_izq_atr >
462)or(adc_der_atr > 475)) then
                while ((adc_izq_del > 526)or(adc_der_del > 410)or(adc_izq_atr >
452)or(adc_der_atr > 465))
                    Portd = %10101010
                    Escritura_LCD(0, estado)
                wend
            end if
            Portd = 0
            estado = "BAJO"
            ***** FIN CICLO WHILE 1 *****
            goto Inicio
        else
            goto A
        end if
    else
        A: if (Portc.3 = 0) then    'Esta activado el botón de modo manual???
            if ((adc_izq_del = 696)or(adc_der_del = 553)or(adc_izq_atr = 713)or(adc_der_atr =
706)) then
                if (velocidad <= 20) then
                    goto Inicio
                else
                    Portc.4 = 1
                    goto Inicio
                end if
            end if
        end if
    end if

```

```

else
    if (velocidad <= 20) then
        *****INICIO CICLO WHILE 2 *****
while ((adc_izq_del < 698)or(adc_der_del < 566)or(adc_izq_atr < 724)or(adc_der_atr <
720))

        Portd = %01010101
        Escritura_LCD(0, estado)
    wend
    Portd = 0          'Apago la alarma
    estado = "ALTO 1"
    ***** FIN CICLO WHILE 2 *****

    Portc.4 = 0
    goto Inicio
else
    Portc.4 = 1
    goto Inicio
end if
end if
else
    if (velocidad < 75) then
        if ((adc_izq_del >= 536)and(adc_izq_del < 696)and
            (adc_der_del >= 420)and(adc_der_del < 553)and
            (adc_izq_atr >= 462)and(adc_izq_atr < 713)and
            (adc_der_atr >= 475)and(adc_der_atr < 706)) then
            goto Inicio
        else
            'Delay_ms(5000)
            Escritura_LCD(5, estado)
            goto Inicio
        else
            if (velocidad >= 40) then
            else
                'Delay_ms(50000)
                'Delay_ms(35000)
                Escritura_LCD(85, estado)
                if (velocidad >= 40) then
                    goto Inicio
                else
                    *****INICIO CICLO WHILE 3 *****
                    while ((adc_izq_del < 620)or(adc_der_del < 497)or(adc_izq_atr
< 585)or(adc_der_atr < 616))
                        Portd = %01010101
                        Escritura_LCD(0, estado)
                    wend
                    estado = "ALTO"
                    ***** FIN CICLO WHILE 3 *****
                    goto Inicio
                end if
            end if
        end if
    end if
end if

```

```

        end if
    else
        'Delay_ms(30000)
        Escritura_LCD(60, estado)
        if (velocidad >= 75) then
            if ((adc_izq_del < 536)and(adc_der_del < 420)and(adc_izq_atr <
462)and(adc_der_atr < 475)) then
                goto Inicio
            else
                Portd=0
                '*****INICIO CICLO WHILE 4 *****
                while ((adc_izq_del > 536)or(adc_der_del > 420)or(adc_izq_atr > 462)or(adc_der_atr
> 475))
                    Escritura_LCD(0, estado)
                    wend
                    Portd = 0
                    estado = "BAJO"

                    '***** FIN CICLO WHILE 4 *****
                    goto Inicio
                end if
            else
                goto Inicio
            end if
        end if
    end if
end if
wend
end.

```

3.4.4. Conexiones del circuito de control manual y generación de aire comprimido

3.4.5.1 Conexión del circuito de generación de aire comprimido

La conexión del circuito de generación de aire comprimido es el siguiente:

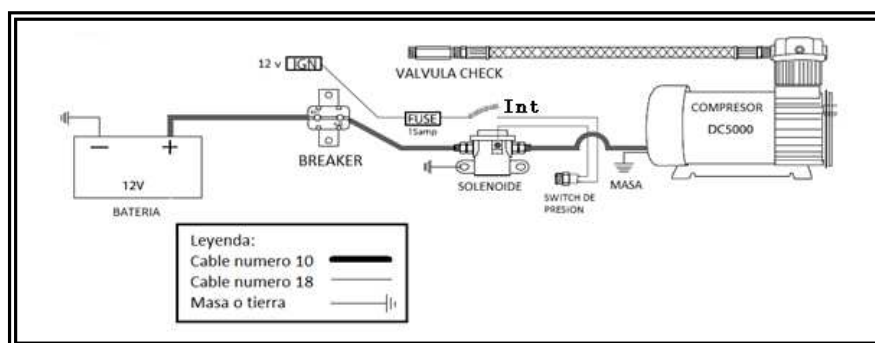


Figura 3.25 Esquema de conexión del compresor.

El voltaje de la batería alimenta al terminal 30 del solenoide (relay), previo de este existe un breaker para evitar un cortocircuito.

El accionamiento del compresor es controlado mediante un switch de presión de acuerdo al siguiente orden, el switch se abre si la presión del sistema es de 145 psi y se cierra si ésta es de 110 psi. Permitiendo el paso de corriente al terminal 85 del solenoide, que a su vez está aterrizado a masa por el terminal 86 y permite que circule corriente del terminal 30 al 87 del solenoide, por ende alimenta de corriente al motor eléctrico del compresor para su funcionamiento. La alimentación al terminal 85 proviene del switch de encendido en el modo IGN; para proteger el circuito se incorpora un fusible de 15 amperios. Se coloca un interruptor (Int) para encender el compresor manualmente, siempre y cuando la presión en el sistema sea menor a 110 psi.

3.4.5.2 Conexión del circuito de funcionamiento manual del sistema

El diagrama de conexión del circuito de funcionamiento manual del sistema es el siguiente:

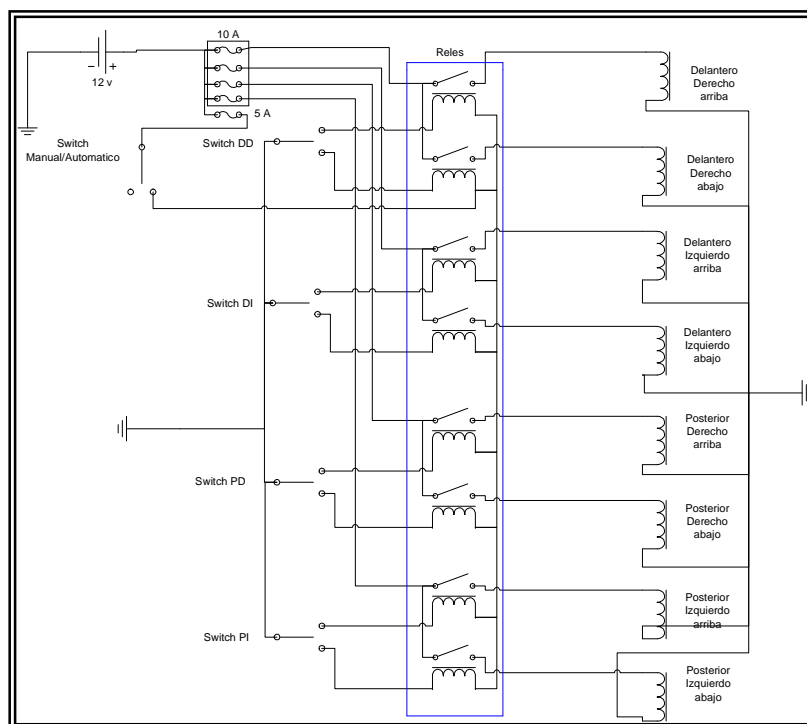


Figura 3.26 Esquema de conexión del modo manual del sistema.

La batería alimenta a los terminales 30 de los relés, protegidos con un fusible de 10 amperios para cada par de relés, además alimenta a los terminales 85 los mismos que están conectados en paralelo, la activación de cada uno de ellos se realiza mediante

pulsadores que están conectados a masa independientemente y así permite el paso de corriente hacia las electroválvulas a través de los terminales 87 de los relés. Existe un switch de activación para el modo manual o automático.

La activación de los modos manual y automático están controlados por un switch que permite que uno de los dos modos se encuentre activado (no los dos a la vez, o ninguno a la vez). El diagrama de conexión para el funcionamiento descrito es el siguiente:

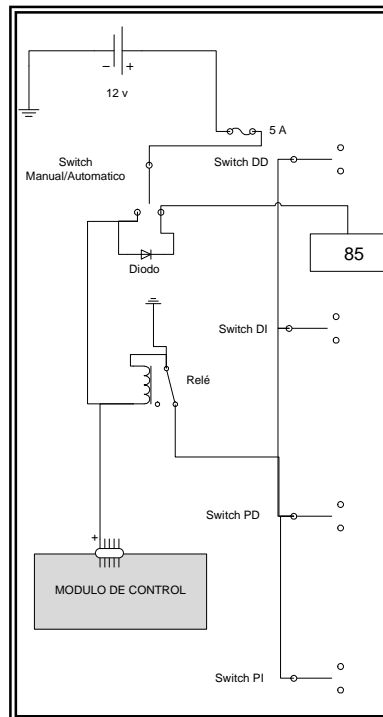


Figura 3.27 Esquema de conexión manual – automático.

La variación con respecto a la conexión del modo manual indicado en la fig. 3.26 es que se agrega un relé de doble contacto a la masa común de los pulsadores y además se incorpora un diodo entre los contactos del switch de cambio manual – automático.

3.5 Construcción del módulo de control del sistema de suspensión neumática

3.5.1 Determinación de entradas y salidas del módulo de control

Una vez determinado los sensores y actuadores a utilizar se diseña el módulo de control con las siguientes entradas y salidas.

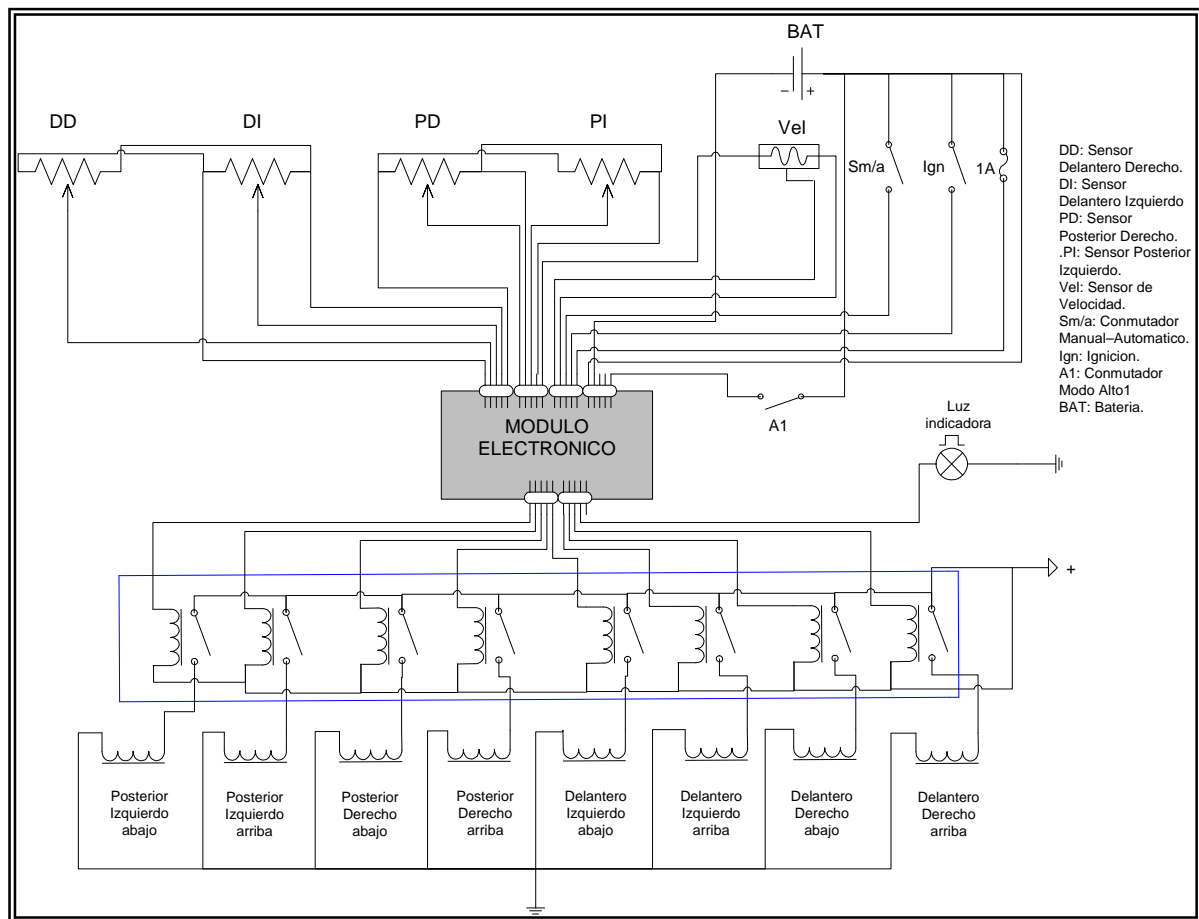


Fig. 3.28 Entradas y salidas de datos del módulo de control.

De acuerdo a la fig.3.28 el módulo de control posee como entradas los sensores de nivel, velocidad, conmutador manual – automático, conmutador de ignición y el conmutador de modo alto 1; como salidas las electroválvulas y la luz indicadora.

Funciones de las entradas y salidas:

- Sensores de nivel: determinan la altura entre el eje de la rueda y la carrocería.
- Sensor de velocidad: determina la velocidad del vehículo.
- Conmutador manual – automático: permite el funcionamiento del sistema manual o automático, pero no los dos a la vez, además, de una posición neutral donde no funciona ninguno de los dos modos.
- Conmutador de Ignición: determina si el vehículo se encuentra encendido.
- Conmutador de modo alto 1: Permite que el conductor active el modo en donde el vehículo sube a la altura más alta de acuerdo a los rangos de altura especificados anteriormente.
- Electroválvulas: Permiten el paso o desfogue de aire hacia los pulmones de aire.

- Luz indicadora: advierte al conductor cuando esta activado el modo alto 1, si éste sobrepasa los parámetros establecidos cuando este modo se encuentra activado.

3.5.2 Circuito del módulo de control

Una vez determinado las entradas y salidas se procede a elaborar el circuito del módulo de control.

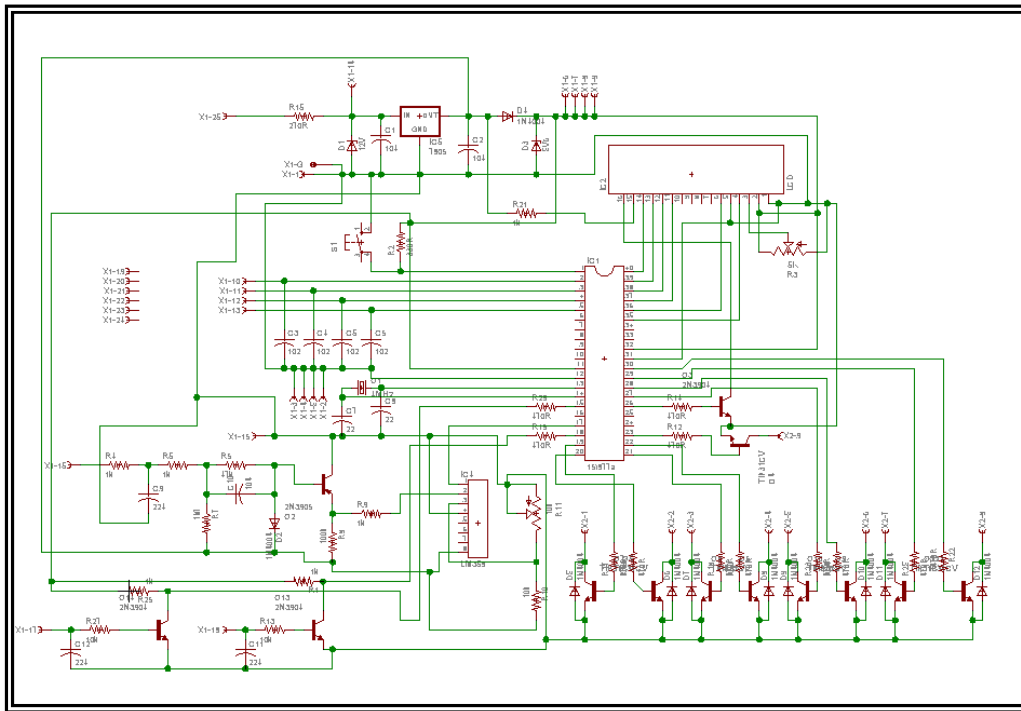


Figura 3.29 *Diseño del circuito del módulo de control.*

Con el circuito del módulo de control se procede a realizar el ruteado del mismo para la realización de la placa.

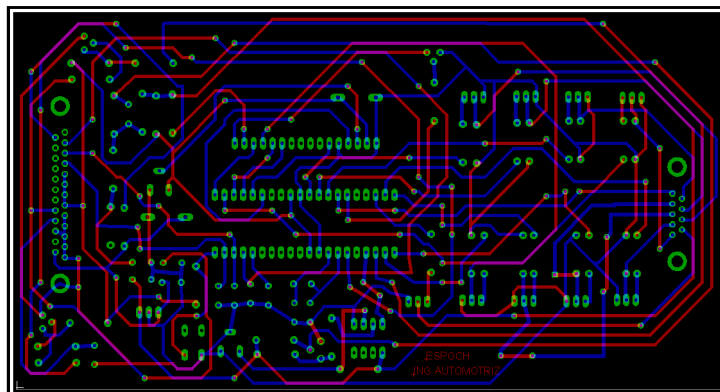


Figura 3.30 *Ruteado del módulo de control.*

3.5.3 Construcción de la placa

Para la construcción de la placa del módulo de control se realiza lo siguiente:

- Se imprime el ruteado del módulo en papel termo sensible.
- Se coloca el circuito sobre una placa de cobre, como el circuito es de doble capa, fijarse que coincidan el uno con el otro.
- Se calienta el papel termo sensible sobre la placa de cobre con una plancha, hasta que el circuito quede impreso sobre la placa.
- Se retira el papel termo sensible con la ayuda de agua, cuidando de retirar todo los restos de papel.
- Se sumerge en cloruro férrico el circuito impreso en la placa, para que se elimine el cobre de la placa, excepto del circuito impreso.
- Se realiza perforaciones en donde van alojados los elementos electrónicos, con precaución de no dañar las pistas del circuito.
- Se procede a soldar los elementos electrónicos, colocándolos en el lugar específico.

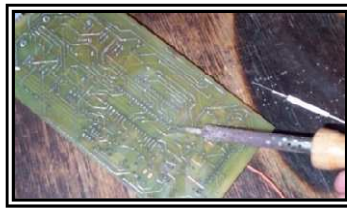


Figura 3.31 *Acople de los elementos electrónicos del módulo de control.*

- Una vez terminado, se realizan las comprobaciones del módulo de control, que se verán más adelante.

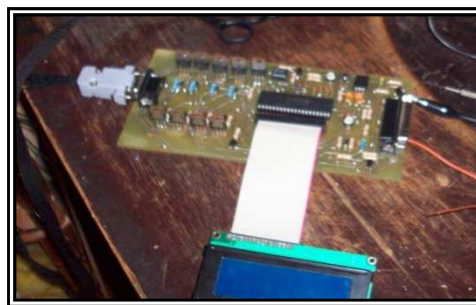


Figura 3.32 *Módulo de control.*

CAPITULO IV

4. INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA

Este tipo de suspensión se está utilizando desde hace pocos años sobre todo en vehículos de alta gama. La suspensión neumática basa su funcionamiento en las propiedades que ofrece el aire sometido a presión. En esta suspensión, se sustituye el resorte mecánico (muelle, ballesta o barra de torsión) por un fuelle o pulmón de aire que varía su rigidez.

La suspensión neumática es un sistema complejo ya que integra numerosos componentes y necesita de una instalación de aire comprimido para su funcionamiento, se puede aplicar tanto en el eje trasero como en el delantero. Con esta suspensión se puede variar la altura de la carrocería manual o automáticamente en función de la velocidad, características de la calzada y estilo de conducción.

4.1 Instalación del sistema de suspensión neumático

4.1.1 Ubicación e instalación del grupo de alimentación de aire

El grupo de alimentación de aire lo instalamos en la parte posterior del vehículo, debido a que este lugar ofrece una mayor cantidad de espacio. Para proteger el compresor contra un posible sobrecalentamiento se procede a desactivarlo si es necesario. El compresor y el grupo de electroválvulas están colocados en un solo conjunto denominado grupo de alimentación de aire, con lo que tendremos un ahorro de espacio mucho mayor.

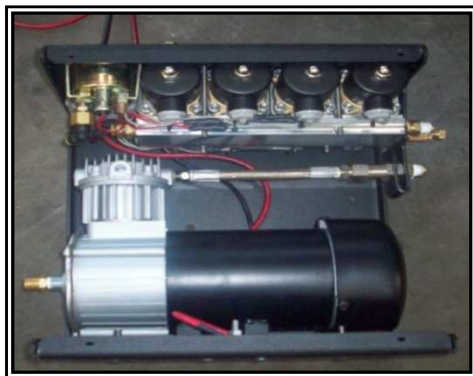


Figura 4.1 *Compresor de aire.*

El tanque de reserva de aire se encuentra ubicado a un costado del grupo de alimentación de aire, por el lado posterior izquierdo del vehículo. Tiene una capacidad de 3 galones, y lleva incorporado un interruptor de presión que se enciende cuando la presión baja hasta 110 PSI y se apaga al llegar a 145 PSI.

Para ubicar el compresor seguimos los siguientes pasos:

1. Escoger la mejor ubicación en la que el compresor se pueda instalar teniendo en cuenta, vibraciones, ruidos que pueda generar el mismo.
2. Construir una base, utilizando acero para asegurar el compresor y el tanque de reserva al vehículo.



Figura 4.2 Base del grupo de alimentación de aire y tanque de reserva.

3. Colocar el tanque de reserva en la base y atornillar a la misma.



Figura 4.3 Colocación del tanque.

4. Colocar el grupo de alimentación de aire (compresor, electroválvulas) en la base para proceder a asegurarlo.
5. Instalar en cada una de las salidas de aire del grupo de alimentación los reguladores de flujo.



Figura 4.4 *Instalación del grupo de alimentación de aire.*

6. Realizar la conexión de las mangueras de aire, estas van desde los acoples ubicados en la parte frontal del grupo de alimentación de aire a cada uno de los amortiguadores, evitando bordes afilados y presencia de calor.
7. Determinar el lugar en el que se va a colocar el manómetro de lectura del sistema, a continuación se procede a ajustar la longitud del cable eléctrico en caso de ser necesario, conectar cada cable con su respectivo código de color en la parte posterior del indicador, conectar el otro extremo en el conector molex fig. 4.7 en el enchufe ubicado en la parte inferior del grupo de alimentación de aire. Cada conector tiene tres posiciones (subir/neutral/bajar), los que controlaran cada pulmón de aire de forma independiente. Cada medidor tiene dos agujas que indica el control de presión del aire en los 4 pulmones de forma diferente.



Figura 4.5 *Ubicación del manómetro.*



Figura 4.6 *Conector molex.*

8. Conectar las mangueras desde los acoples de salida ubicados en el grupo de alimentación de aire hacia los manómetros de lectura que se encuentran ubicados en la consola central del vehículo, en la parte superior del equipo de audio.

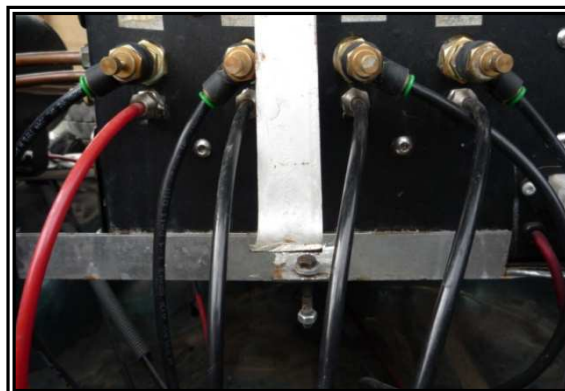


Figura 4.7 *Mangueras de conexión.*

9. Instalar cañerías de cobre para conectar el grupo de alimentación de aire con el tanque de reserva ubicado a un costado del mismo.



Figura 4.8 *Cañerías de cobre.*

10. Instalar el swich de presión de aire en el tanque de reserva, colocando un poco de teflón en el roscado para evitar fugas.



Figura 4.9 *Lugar en donde va instalado el swicht de presión.*

11. Conectar el cable negro a masa.
12. Conectar el cable rojo al terminal positivo de la batería.

4.1.2 Instalación de los amortiguadores

El brazo de suspensión está formado por dos partes:

- Una neumática que sustituye al muelle de las suspensiones mecánicas convencionales y que sirve principalmente para nivelar la carrocería.
- Una suspensión de reglaje continuo de la amortiguación, que utiliza amortiguadores de tarado variable a través de unas electroválvulas que controlan el paso del aire.

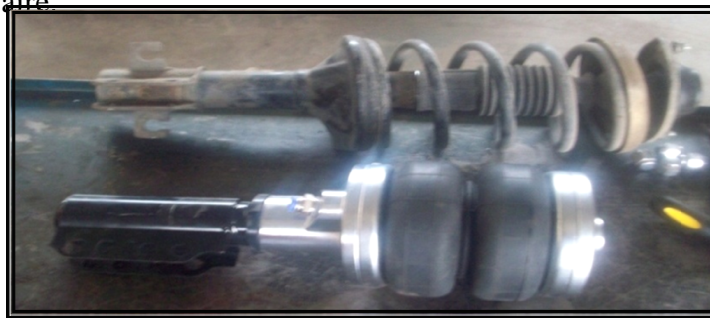


Figura 4.10 *Suspensión normal y neumática.*

Para instalar los amortiguadores, se debe retirar el sistema de suspensión original del automóvil y cambiarlo por el sistema de suspensión neumática, siguiendo el siguiente procedimiento:

1. Colocar el vehículo en un lugar plano.

2. Desconectar la batería.
3. Levantar el automóvil y proceder a embancarlo.
4. Retirar las ruedas del vehículo.
5. Desmontar las grapas de las cañerías de freno, eslabones de la barra de oscilación, y otros accesorios que se encuentren enganchados en la suspensión.



Figura 4.11 *Desmontaje de accesorios.*

6. Aflojar las tuercas que sujetan la base superior de la suspensión con la carrocería.



Figura 4.12 *Base superior.*

7. Retirar la suspensión.



Figura 4.13 *Suspensión convencional.*

8. Para aflojar la tuerca que ajusta la base superior con el amortiguador, se necesita una herramienta especial para comprimir los muelles, asegúrese de retirar con cuidado el muelle ya que puede causar accidentes si llega a soltarse.
9. Retire la base superior de la suspensión, y el guardapolvo.
10. Instale la base superior de la suspensión antigua en la suspensión neumática como se muestra en la figura.



Figura 4.14 *Colocación de la base superior.*

11. Adaptar cada guardabarros para que los pulmones de aire de la suspensión no rosen contra este, y así evitar problemas en la misma.



Figura 4.15 *Guardabarros.*

12. En nuestro caso se tuvo que colocar un alza de caucho de 10cm. en la suspensión delantera y de 4 cm. en la suspensión trasera aproximadamente, debido a que, el vehículo en condición normal tendía a quedar muy bajo, otro problema que se tuvo es que el guardabarros en la parte superior es más angosto, por lo que los pulmones de aire rosaban contra este.



Figura 4.16 *Caucho.*

13. Instalar la suspensión neumática siguiendo los pasos 6 y 5 respectivamente.



Figura 4.17 *Colocación de la suspensión.*

14. Conectar la manguera de aire en el acople rápido de cada uno de los amortiguadores, observando que en el trayecto, ésta no tope con bordes afilados, exista demasiada humedad o lugares calientes.



Figura 4.18 *Manguera de aire*

15. Instalar las ruedas nuevamente y retirar los embanques del automóvil, asegurándose de inflar los pulmones de aire para no dañar el sistema de suspensión.
16. Conectar la batería.

4.2 Instalación del sistema eléctrico y electrónico

4.2.1 Instalación del sistema eléctrico del compresor

Antes de proceder a conectar el compresor, procedemos a realizar una pequeña prueba de funcionamiento para saber el estado del mismo y evitar contratiempos.

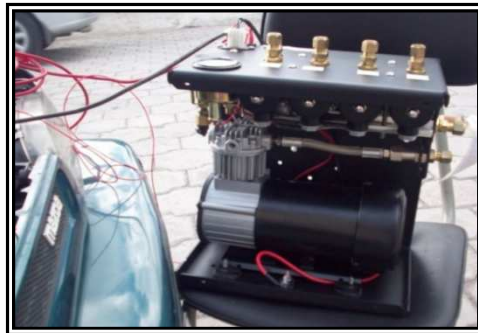


Figura 4.19 *Compresor.*

La instalación eléctrica del compresor es fácil, se seguirán los siguientes pasos:

1. Desconectar la batería.
2. Instalar el conjunto del grupo de alimentación de aire en el que se encuentra el compresor, en el soporte adaptado en el maletero del vehículo.
3. Asegure el conjunto del grupo de alimentación de aire en el soporte, con una correa adaptada para este.

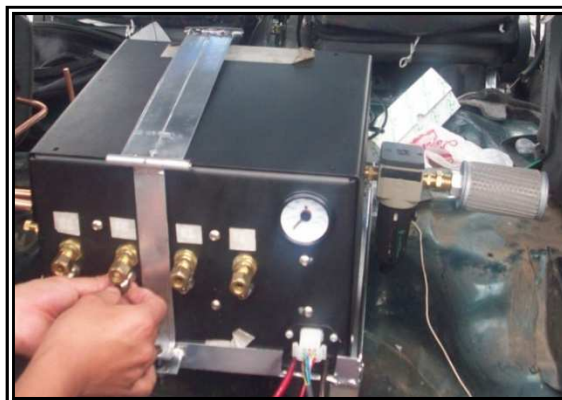


Figura 4.20 *Aseguramiento del grupo de alimentación de aire.*

4. Conectar el cable rojo que sale del grupo de alimentación de aire hacia el borne positivo de la batería.
5. Conectar el cable negro a una buena masa, puede ser a la carrocería.
6. Ajustar la longitud del cable eléctrico si es necesario, conectar cada cable con su código de color en la parte posterior del manómetro, conecte el otro extremo en el conector molex en el enchufe del grupo de alimentación de aire.
7. Conectar la batería y verificar que el compresor funcione correctamente.

4.2.2 Ubicación e instalación de los sensores

4.2.2.1 Sensor de velocidad

El sensor de velocidad va instalado en la campana de la caja de velocidades, adaptado al piñón del velocímetro.

Para instalar este sensor se procede de la siguiente manera:

1. Desconectar el cable del velocímetro.
2. Aflojar el perno que sujeta el piñón del velocímetro con la campana de la caja de velocidades.
3. Retirar el piñón del velocímetro.
4. Instalar el conector doble cabeza en el piñón del velocímetro, que nos servirá para acoplar este con el sensor de velocidad.



Figura 4.21 *Conector doble cabeza.*

5. Colocar el piñón en la campana de la caja de velocidades.
6. Acoplar el sensor de velocidad al piñón del velocímetro.



Figura 4.22 *Adaptación del sensor de velocidad.*

7. Conectar el cable del velocímetro.



Figura 4.23 *Cable del velocímetro.*

8. Conectar el cable del sensor de velocidad hacia el cable del módulo de control, teniendo en cuenta el color de cada cable.



Figura 4.24 *Cable del sensor de velocidad.*

4.2.2.2 Sensores de nivel

Los sensores que vamos a utilizar para determinar la altura del vehículo son de tipo potenciómetro, van adaptados en el guardabarros del mismo y conectados a un mecanismo biela-manivela. Las sujeciones y bieletas de acoplamiento son específicas por lados y ejes.

Las varillas del mecanismo se van a diferenciar por sus medidas, ya que las varillas del mecanismo del eje delantero son más pequeñas que las varillas del mecanismo del eje trasero.

Para instalar el mecanismo y el sensor procedemos de la siguiente manera:

1. Instalar la varilla en el agujero de la mesa del vehículo, y apretar la tuerca de sujeción contra esta.



Figura 4.25 *Instalación de la varilla.*

2. Colocar el sensor en su alojamiento y acoplarlo a la platina, asegurar el sensor por medio de pernos a la carrocería.
3. Conectar la platina a la varilla por medio de una rótula que está unida a esta con un perno.



Figura 4.26 *Platina y rótula de sujeción del sensor.*

4. Realizar la conexión eléctrica del sensor, identificando cada pin del sensor (masa, señal, alimentación).
5. Realizar este procedimiento en cada guardabarros del automóvil.

4.2.3 Ubicación e instalación del módulo de control

El módulo de control estará ubicado en una caja de plástico, que servirá para protegerlo de cualquier golpe, daño, ingreso de agua y posibles cortocircuitos que se podrían dar al hacer contacto con una parte metálica.

Este va ubicado en el interior del vehículo, en la parte delantera derecha justo por debajo del salpicadero; se escogió este lugar ya que aquí existe un mayor espacio para su instalación, además en este lugar el módulo está protegido de la humedad, el calor, y no dificulta la entrada y salida del acompañante.



Figura 4.27 *Módulo de control.*

En la parte superior del módulo va instalado el conector DB25, de este salen los cables que conectan al sensor de velocidad, sensor de altura, cables de masa y alimentación, interruptor manual-automático, cable de ignición de la bobina.

En la parte inferior del módulo va instalado el conector DB9, del cual salen cables que comunican a las electroválvulas y a la luz testigo.

4.3 Mantenimiento del sistema de suspensión neumática en el vehículo mazda

323

El mantenimiento del sistema de suspensión neumática debe realizarse en el compresor, tanque de reserva de aire, amortiguadores, mangueras y dispositivos

neumáticos ya que su duración depende del tipo de mantenimiento que se realice. El mantenimiento que se realizara será:

- a. **Limpieza del tanque de reserva de aire:** la limpieza del tanque se lo realiza purgando el depósito, se lo debe realizar cada mes para evitar la corrosión de sus paredes internas, para esto se debe aflojar la llave que se encuentra ubicada en la parte inferior del tanque y dejar que salga todo el aire contenido en este.



Figura 4.28 *Purga de aire.*

- b. **Compresor:** Para la limpieza del compresor, primero se debe desconectar todas las mangueras, retirar la tapa que cubre el grupo de alimentación de aire, proceder a limpiar el compresor y grupo de electroválvulas de toda presencia de polvo con una franela, lubricar el compresor, limpiar el filtro de aire cada que se realice el mantenimiento del compresor, este se realizara a los 4000 Km.

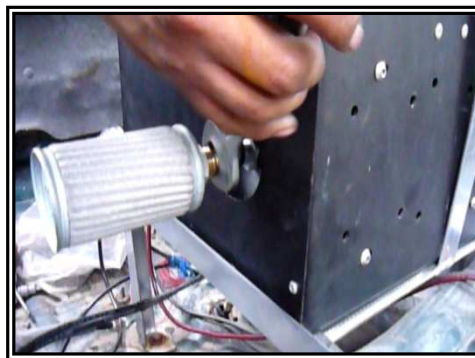


Figura 4.29 *Filtro de aire.*

- c. **Módulo de control:** limpiar toda presencia de polvo y suciedad del módulo con una brocha, esta limpieza se la puede realizar cada 2 mantenimientos.
- d. **Amortiguadores:** realizar una limpieza de todo el conjunto amortiguador-valona, en los pulmones de aire observar que no existan abolladuras. Esta

limpieza se la puede hacer cada vez que se realice el mantenimiento al compresor.

- e. **Mecanismo:** verificar que el varillaje del mecanismo no esté desgastado y deformado, engrasar las rotulas y realizar un reajuste de las tuercas que conforman en si el mecanismo, ya que estas deficiencias pueden variar el voltaje de los sensores y la suspensión no funcionaria correctamente, se lo puede realizar cada 4000 Km.
- f. **Fugas:** para determinar fugas en el sistema se debe emplear una solución jabonosa o agua con detergente, mojar con un paño el lugar en donde tenemos uniones, codos, entre mangueras, cañerías, esta verificación se la realiza en caso de que existan pérdidas de presión en los pulmones.

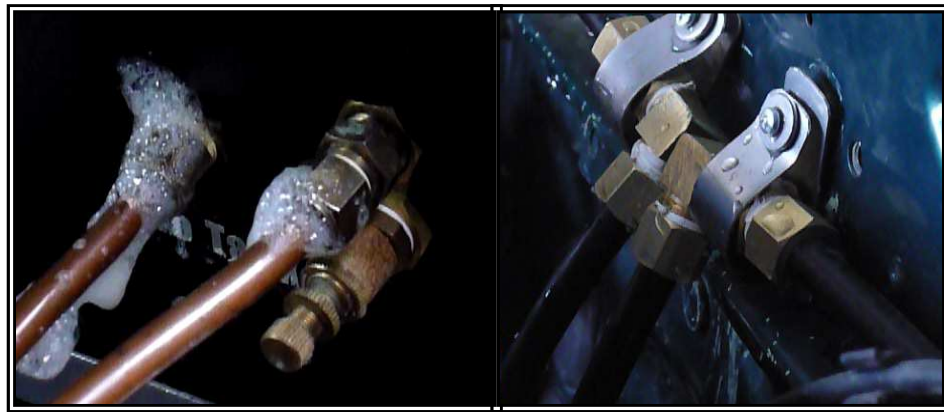


Figura 4.30 *Fugas en cañerías.*

CAPITULO V

5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

5.1 Prueba del sistema electrónico

5.1.1 Prueba de los sensores

a. Sensor de nivel

Para comprobar si los sensores de nivel funcionan correctamente, se mide el voltaje luego que el sensor ha sido instalado en el vehículo. Posteriormente se mide el voltaje luego de bajar y subir el vehículo, con lo cual se observa que los valores de voltaje varían con respecto al valor leído anteriormente y además coinciden con la altura calculada.



Figura 5.1 *Prueba del sensor de nivel.*

b. Sensor de velocidad

Para la comprobación del sensor de velocidad se utiliza un osciloscopio, conectado al cable de señal del sensor y se procede a observar la gráfica. El sensor envía los datos mediante ondas sinusoidales que corresponden a una forma de onda típica de voltaje AC, que está acorde con este tipo de sensor.

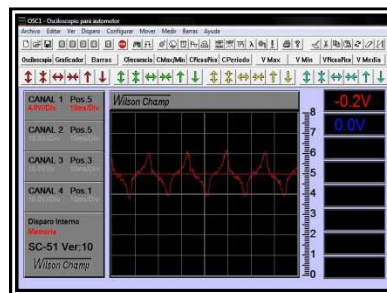


Figura 5.2 *Forma de onda del sensor de velocidad.*

5.1.2 Prueba del módulo de control

Para comprobar si el módulo de control cumple con los requerimientos establecidos anteriormente, se realiza la prueba de funcionamiento de las condiciones de operación, es decir, los modos alto1, alto, bajo y estacionamiento.

a. Modo alto1

Para la comprobación de funcionamiento de este modo se realiza lo siguiente:

- Se accionó el interruptor a una velocidad menor a 20 Km/h y de inmediato se acciono el modo alto1 fig. 5.3 (a).
- Se sobrepasó la velocidad de 20 Km/h y la luz indicadora se encendió fig. 5.3 (b).
- Se accionó el interruptor a una velocidad mayor a 20 Km/h y la luz indicadora se encendió y no se acciono el modo alto1 fig. 5.3 (c).



Figura 5.3 *Comprobación modo alto1.*

b. Modo alto

Para comprobar si este modo funcionaba correctamente se realizó lo siguiente:

- Se recorrió en la ciudad por una hora y no se observó ningún cambio de modo, es decir, el modo alto se mantuvo durante el trayecto, incluso cuando el vehículo circuló a diferentes velocidades.



Figura 5.4 *Comprobación modo alto.*

c. Modo bajo

Para comprobar si este modo funcionaba correctamente se realizó lo siguiente:

- Se recorrió un tramo de carretera y se observó que al sobrepasar los 75 Km/h y con una velocidad igual o mayor a la señalada, el vehículo luego de transcurridos 60 segundos pasaba de modo alto a bajo.



Figura 5.5 *Comprobación modo bajo.*

- Una vez que el vehículo estuvo en modo bajo, se disminuyó la velocidad de 75 Km/h, pero arriba de 40 Km/h, el modo bajo se mantuvo.
- Luego al bajar la velocidad a menos de 40 Km/h durante un tiempo aproximado de 90 segundos el vehículo paso de modo bajo a modo alto.

d. Modo estacionamiento

Para comprobar este modo se estacionó y apagó el vehículo, transcurridos aproximadamente 18 segundos el vehículo pasó del modo alto al modo bajo.



Figura 5.6 *Comprobación modo estacionamiento.*

5.2 Prueba de estabilidad

Para comprobar, si el vehículo implementado con el sistema de suspensión neumática mejora con respecto a un vehículo con un sistema de suspensión mecánico convencional, se procede a realizar las pruebas que determinen si la estabilidad es mayor, se mantiene o es menor.

En este caso se determinó la estabilidad del vehículo de acuerdo a las siguientes pruebas de campo:

5.2.1 Prueba de carretera

Este tipo de prueba permite observar el funcionamiento de la suspensión cuando el vehículo se encuentra en movimiento, se realiza en carretera debido a que la estabilidad de un vehículo está relacionada con la velocidad que posee el mismo.

El objetivo de esta prueba es determinar la variación de voltaje que envían los sensores de acuerdo a la velocidad del vehículo, además, de los posibles tramos que puedan existir en una carretera. Dichos valores tomados se proceden a graficar para determinar si existe un porcentaje de mejoramiento de la estabilidad del vehículo.

Por lo tanto, se realiza una prueba de ruta con el sistema de suspensión mecánica convencional y luego con el sistema de suspensión neumático instalado en el vehículo. La prueba se realizó en el tramo comprendido entre Riobamba – San Andrés - Guano, con un recorrido de 27 Km.

En esta prueba se toma en cuenta los siguientes factores:

- Velocidad del vehículo.
- Distancia recorrida.
- Valor de voltaje de los sensores.
- Observaciones.

5.2.1.1 Prueba de carretera sin el sistema

A continuación se muestra los resultados obtenidos en esta prueba, los datos se encuentran en el ANEXO 9.

- **Resultados**

La prueba se realizó tomando los datos de voltaje de los sensores delanteros de cada rueda del vehículo. Se tomó estos dos datos como referencia para determinar el comportamiento de la suspensión en carretera y comprobar la estabilidad del vehículo.

Mediante los datos tomados en el ANEXO 9 se realizó una gráfica de Velocidad vs. Voltaje. De cada una de las ruedas delanteras.

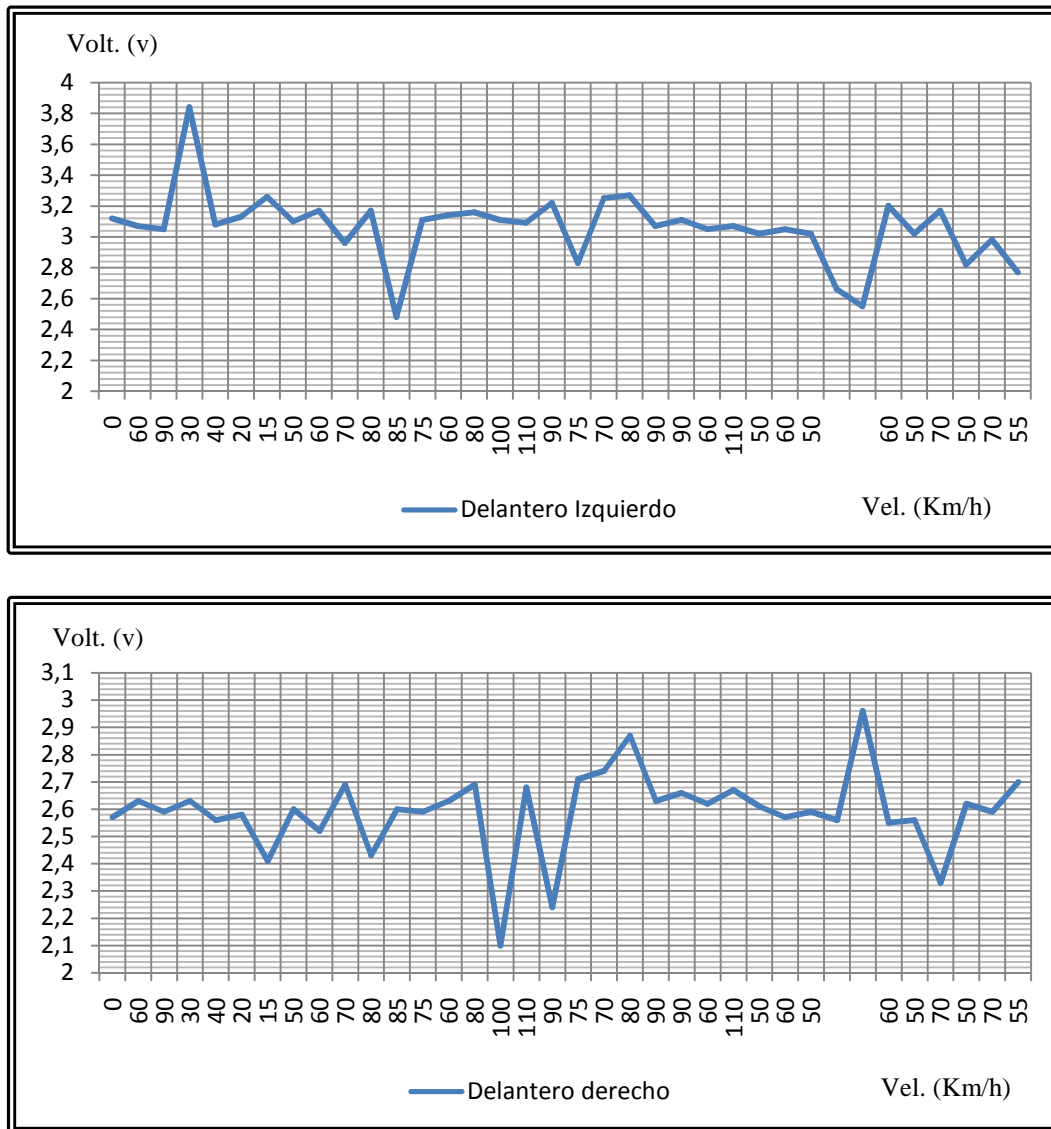


Figura 5.7 Gráficas Vel. Vs. Volt. en el sistema de suspensión mecánico convencional.

5.2.1.2 Prueba de carretera con el sistema

A continuación se muestra los resultados obtenidos en esta prueba, los datos obtenidos se encuentran en el ANEXO 10.

- **Resultados**

La prueba se realizó de manera similar a la anterior, tomando los datos de voltaje de los sensores delanteros de cada rueda del vehículo. En este caso la altura cambió con respecto a la prueba anterior, por ende los valores de voltaje de los sensores también cambiaron.

Mediante los datos tomados en el ANEXO 10 se realizó una grafica Velocidad vs. Voltaje de cada una de las ruedas delanteras.

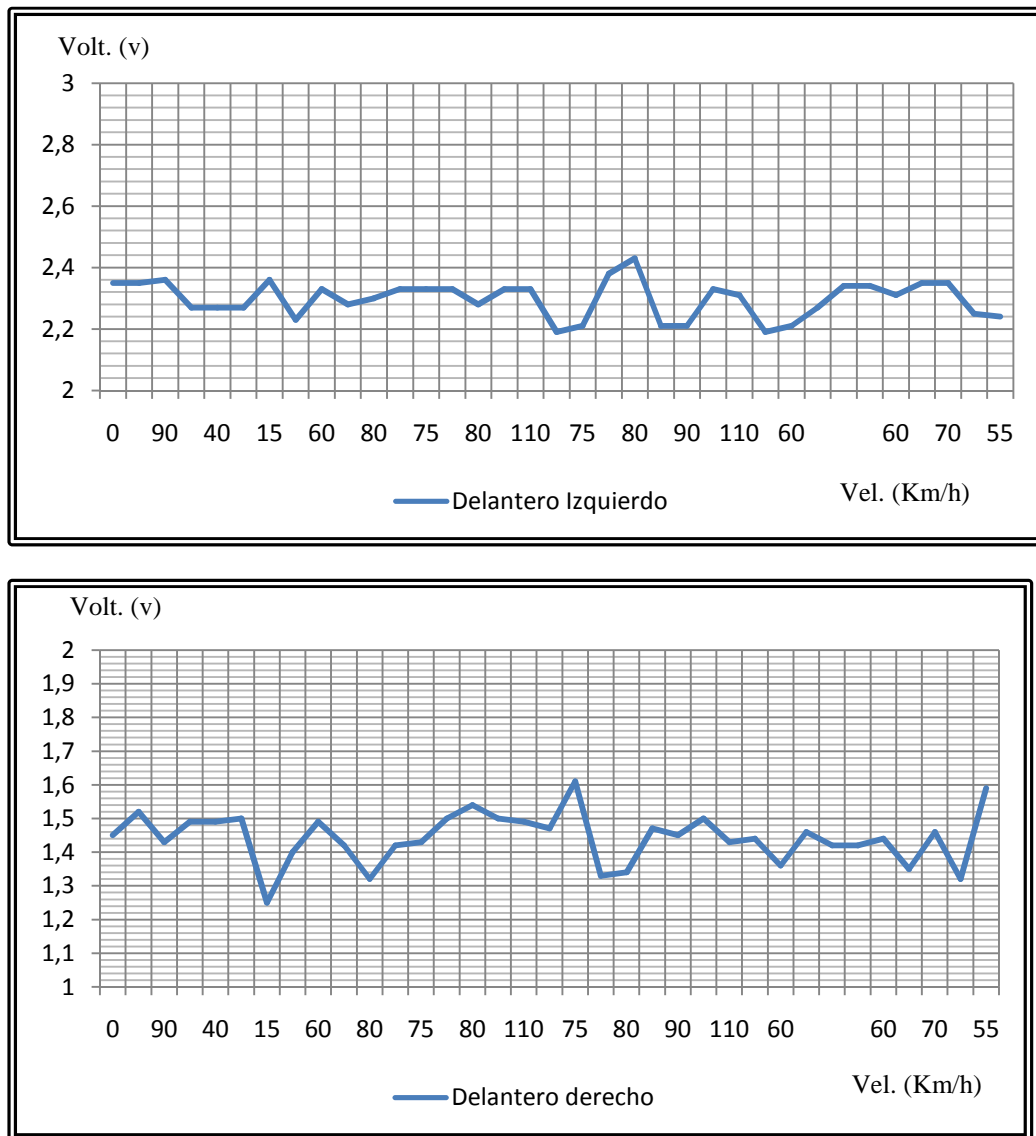


Figura 5.8 Gráficas Vel. vs. Volt. sistema de suspensión neumática.

5.2.1.3 Análisis de las pruebas realizadas en carretera

Para las pruebas en carretera, se tomó en cuenta las gráficas del vehículo cuando utilizaba el sistema de suspensión convencional, y cuando está implementado el sistema de suspensión neumática.

El voltaje de los sensores varían debido a que en la prueba sin el sistema de suspensión neumática implementado, el vehículo permaneció a una altura referencial constante, en cambio con el sistema implementado el vehículo permaneció en el modo bajo.

Por lo tanto, de las figuras 5.7 y 5.8 se observó que los picos disminuyeron cuando se realizó la prueba con el sistema de suspensión neumática implementado en el vehículo. Existe menor variación de voltaje en comparación con la primera prueba realizada.

Tabla 5.1 VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE LA PRUEBA DE CARRETERA.

	Sin el sistema		Con el sistema	
	Delantero izquierdo (di_m)	Delantero derecho (dd_m)	Delantero izquierdo (di_n)	Delantero derecho (dd_n)
Máximo (v)	3,84	2,96	2,43	1,61
Mínimo (v)	2,48	2,1	2,19	1,25
$\Delta(\text{Max} - \text{min})$	1,36	0,86	0,24	0,36

Como se observa en la tabla 5.1, existe diferencia entre los valores de voltaje de la prueba con el sistema mecánico convencional y con la del sistema implementado.

En porcentajes tenemos que:

- **Lado Delantero izquierdo**

$$\Delta(\text{max} - \text{min})_1 = \Delta t_{di1} = 1,36$$

$$\Delta t_{di1} = 1,36 = 100\%$$

$$\Delta(\text{max} - \text{min})_2 = \Delta t_{di2} = 0,24$$

$$d\Delta t = \frac{\Delta t_{di2} \times 100}{\Delta t_{di1}} \quad (5.1)$$

$$d\Delta t = \frac{0,24 \times 100}{1,36}$$

$$d\Delta t = 17,64\%$$

$$E_{di} = \Delta t_1 - d\Delta t \quad (5.2)$$

$$E_{di} = (100 - 17,64)\%$$

$$E_{di} = 82,36 \%$$

Donde:

Δt_{di1} : Variación de voltaje sin el sistema implementado.

Δt_{di2} : Variación de voltaje con el sistema implementado.

$d\Delta t$: Porcentaje de variación asumido si Δt_{di1} es el 100%.

E_{di} : Eficiencia de mejoramiento del lado delantero izquierdo con respecto a la prueba de ruta sin el sistema de suspensión neumática.

- **Lado delantero derecho.**

$$\Delta(max - min)_1 = \Delta t_{dd1} = 0,86$$

$$\Delta t_{dd1} = 0,86 = 100\%$$

$$\Delta(max - min)_2 = \Delta t_{dd2} = 0,36$$

$$\Delta t_{dd2} = 0,36$$

$$d\Delta t = \frac{\Delta t_{dd2} \times 100}{\Delta t_{dd1}} \quad (5.3)$$

$$d\Delta t = \frac{0,36 \times 100}{0,86}$$

$$d\Delta t = 41,86\%$$

$$E_{dd} = \Delta t_{dd1} - d\Delta t$$

$$E_{dd} = (100 - 41,86)\%$$

$$E_{dd} = 58,18 \%$$

Donde:

Δt_{dd1} : Variación de voltaje sin el sistema implementado.

Δt_{dd2} : Variación de voltaje con el sistema implementado.

$d\Delta t$: Porcentaje de variación asumido si Δt_{dd1} es el 100%.

E_{dd} : Eficiencia de mejoramiento del lado delantero izquierdo con respecto a la prueba de ruta sin el sistema de suspensión neumática.

Según los valores de porcentajes obtenidos, existe un mejoramiento significativo con respecto a los sistemas de suspensión convencionales, por ende esto se traduce en un aumento de la estabilidad del vehículo.

5.2.2 Prueba de cabeceo.

Este tipo de prueba se analiza cuando el vehículo frena de manera brusca. Normalmente cuando esto sucede la parte delantera del vehículo tiende a bajarse, este fenómeno está relacionado con la estabilidad del vehículo.

El objetivo de esta prueba es medir cuanto baja el vehículo en la parte delantera cuando se frena bruscamente, comparando con un vehículo que incorpora el sistema de suspensión convencional y con un vehículo que implementa el sistema de suspensión

neumática. Esta prueba se realizó con otro vehículo de similares características (automóvil mazda 323).

- **Resultados**

La prueba se realizó en un tramo de carretera, con los vehículos partiendo desde una velocidad de 0 Km/h hasta alcanzar diferentes velocidades, luego de alcanzar estas velocidades se frenó bruscamente y se tomó esa medida.

Para tomar esta medida, se colocó una señal de referencia en la parte inferior del parachoques del lado del conductor en los dos vehículos con los que se realizó las pruebas, y con una tira graduada se midió la altura a la que bajaron los dos vehículos.



Figura 5.9 Prueba de cabeceo.

Los valores obtenidos en esta prueba son:

Tabla 5.2 VALORES OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE CABECEO.

Velocidad (Km/h)	Suspensión convencional			Suspensión neumática		
	Medida estándar m_{1a}^*	Medida obtenida m_{2a}^*	$\Delta(m_{1a}-m_{2a})$	Medida estándar m_{1b}^*	Medida obtenida m_{2b}^*	$\Delta(m_{1b}-m_{2b})$
20	22,9	21	1,9	26,3	25	1,3
30	22,9	20,4	2,5	26,3	24,5	1,8
50	22,9	18,5	4,4	26,3	24,5	1,8

* Valores en cm.

En los valores que se observan en la tabla 5.2 se nota claramente una gran diferencia de resultados obtenidos. Cuando se realizó la prueba a una velocidad de 50 Km/h se tiene una diferencia de 2,6 cm con respecto al vehículo que tiene incorporado el sistema de suspensión mecánico convencional, en porcentaje, el vehículo que tiene

incorporado el sistema de suspensión neumática mejoró en un 59% con respecto al otro vehículo, lo que, y esto se traduce en mayor estabilidad para el mismo.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se ha cumplido con el objetivo planteado, es decir se ha implementado un sistema de suspensión neumática en un vehículo mazda 323.
- El uso de pulmones de aire alarga la vida útil en los sistemas de suspensión con respecto a los sistemas de suspensión mecánicos.
- La incorporación de sistemas mecánicos comandados electrónicamente, como es el caso de la suspensión neumática, son indispensables debido a que aumenta la seguridad activa del vehículo.
- La programación del modo de funcionamiento automático se ha realizado tomando en cuenta la velocidad y altura del vehículo, consiguiendo que el sistema de suspensión implementado modifique la altura del vehículo en función de la velocidad del mismo.
- La estabilidad del vehículo mejoró notablemente con respecto al del anterior sistema, debido a que se realizaron pruebas de estabilidad, comparando con un vehículo de similares características que no incorpora el sistema de suspensión neumática y nuestro vehículo.
- Todos los conocimientos adquiridos durante la formación profesional se ha aplicado en la construcción e implementación del sistema, lo cual permitió mejorar el funcionamiento del auto.

6.2 Recomendaciones

- Utilizar la menor cantidad posible de partes mecánicas en lo referente al sistema electrónico debido a su rápido desgaste.

- Para una regulación más precisa se recomienda añadir sensores de presión para cada pulmón de aire, debido a que si las presiones se encuentran iguales aumenta la eficacia de funcionamiento del sistema.
- Se debe tener cuidado con los modos de funcionamiento de la suspensión neumática, debido a que el mal manejo del mismo puede ocasionar daños al sistema.
- Si existe cualquier falla en el funcionamiento del modo automático, se puede desactivar el mismo y únicamente trabajar en forma manual.
- Realizar un mantenimiento periódico en el sistema para su correcto funcionamiento.
- En caso de averías que ameriten la reparación del sistema recurrir a personal calificado.
- Se recomienda la correcta aplicación de los procedimientos desarrollados en este documento, para la obtención de resultados reales y que no exista problemas al momento de realizar las pruebas.

BIBLIOGRAFÍA

- **ALONSO**, José M. Técnicas del Automóvil. 7ma. ed. España: Paraninfo. 2004.
- **ANGULO**, José M. Microcontroladores Pic. 3ra. ed. Chile: Mcgraw-hill. 2005.
- **BLANES**, O. Manual de Instalaciones Neumáticas. 2da. ed. Barcelona: Ceac. 1990.
- **CARNICER**, Enrique. Aire Comprimido. 2da. ed. España: Paraninfo. 1994.
- **IBRAHIM**, D. Programación de Microcontroladores. Barcelona: Marcombo. 2007.
- **JIMENEZ DE CISNEROS**, Luis. Manual de Neumática. España: Blume. 1979.
- **MALVINO**, Albert P. Principios de Electrónica. 6ta. ed. España: Mcgraw-hill. 2000.
- **MEZQUITA**, José F. Tratado Sobre Automóviles. México: Alfaomega. 2001.

LINKOGRAFIA

- Sistemas de Suspensión
<http://www.mecanicavirtual.org>
2010-05-28
- Amortiguadores y Suspensión.
<http://www.tecnun.com/automocion.html>.
2010-05-28
- Suspensión Activa
<http://www.entrecoches.com>
2010-06-10
- Sistema de Suspensión Neumática
<http://www.manualesdemecanica.com/es/manuales-de-taller.html>
2010-06-15
- Sistemas Neumáticos
http://www.sapiensman.com/neumatica_hidraulica.htm
2010-06-20
- Pulmones de Aire
http://www_streetbeatcustoms_com-airmanagcomp-bags-slam.htm
2010-08-21
- Datasheet del Pic 16f877a
<http://ww1.microchip.com/downloads>
2010-08-30